



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte
Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional

INFORME DE EVALUACIÓN

LM-PI-UGERVN-006-2021

ANALISIS DE SITIOS CON VULNERABILIDAD A DESLIZAMIENTO RUTA NACIONAL N°2 TRAMO SAN ISIDRO DEL GUARCO – SAN ISIDRO DEL GENERAL

San José, Costa Rica

Mayo, 2021



Documento generado con base en el Artículo 6, inciso c) de la Ley 8114 y lo señalado en el Capítulo II, Artículo 14 del Reglamento del Artículo 6 de la precitada ley, publicada mediante Decreto DE-37016-MOPT.

| | | |
|--|---|--|
| 1. Informe LM-PI-UGERVN-06-2021 | | 2. Copia No.1 |
| 3. Título INFORME DE EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD A DESLIZAMIENTOS RUTA NACIONAL No.2. TRAMO SAN ISIDRO DEL GUARCO – SAN ISIDRO DEL GENERAL | | 4. Fecha del Informe Mayo 2021 |
| 5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440 | | |
| 6. Notas complementarias No aplica | | |
| 7. Resumen En cumplimiento de las funciones de evaluación y fiscalización de la red vial nacional pavimentada, que los Artículos 5 y 6 de la Ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias encomienda a la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LANAMMEUCR), se llevó a cabo la evaluación de un total de 16 puntos a lo largo de la Ruta Nacional No.2, se recopiló información de campo mediante VANT, para generar modelos de elevación digital y toma de fotografías aéreas. Seis de los puntos evaluados presentan un alto riesgo potencial a tener deslizamientos que puedan detener completamente la conectividad de esta ruta. Estos puntos se ubican principalmente después del Cerro de La Muerte hacia Pérez Zeledón. Cuatro puntos evaluados presentan un riesgo moderado y seis puntos presentan un riesgo bajo, estos son lugares que han sido intervenidos por la administración en los últimos 3 años. Los puntos con potencial alto deberían de ser atendidos lo antes posible y los puntos con potencial bajo deberían de mantenerse en esa condición mediante mantenimiento en las obras de estabilización realizadas. | | |
| 8. Palabras clave Ruta Nacional No.2, taludes, deslizamiento, seguridad vial, infraestructura vial | 9. Nivel de seguridad Bajo | 10. Núm. de páginas 92 |
| 11. Preparado por: | | |
| Paulo Ruiz Cubillo Geólogo UGERVN | Ing. Ronald Naranjo Ureña Ingeniero Civil UGERVN | Paul Vega Salas Geógrafo UGERNV |
| Fecha: / / | Fecha: / / | Fecha: / / |
| 12. Revisado por: Lic. Miguel Chacón. Asesor Legal | Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador UGERVN | 13. Aprobado por: Ing. Ana Luisa Elizondo Salas MSc Coordinadora General PITRA |
| Fecha: / / | Fecha: / / | Fecha: / / |
| | | |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. POTESTADES | 4 |
| 2. OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN..... | 4 |
| 3. METODOLOGÍA Y ALCANCE DE LA EVALUACIÓN | 4 |
| 4. OBSERVACIONES SOBRE LOS DESLIZAMIENTOS Y PUNTOS EVALUADOS | 5 |
| 4.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 5 |
| 4.2 ANTECEDENTES DE LOS SITIOS EVALUADOS..... | 8 |
| 4.3 GEOMORFOLOGÍA Y PENDIENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO..... | 8 |
| 4.4 GEOLOGÍA DE LOS PUNTOS EVALUADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO..... | 10 |
| 4.5 CRITERIO UTILIZADO PARA VALORACIÓN DEL RIESGO..... | 14 |
| 4.6 PATOLOGÍAS DETECTADAS EN LOS PUNTOS EVALUADOS..... | 15 |
| 5. CONCLUSIONES GENERALES..... | 57 |
| 6. RECOMENDACIONES..... | 61 |
| 7. REFERENCIAS | 61 |
| 8. ANEXOS | 62 |

1. POTESTADES

El presente informe se enmarca dentro de las funciones de evaluación bienal de la red vial nacional pavimentada, que los Artículos 5 y 6 de la Ley No. 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias encomienda a la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LANAMMEUCR) “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense”.

2. OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN

El objetivo de la evaluación es identificar las condiciones actuales de riesgo de diferentes sitios ubicados en el sector de montaña de la Ruta Nacional No. 2, específicamente entre San Isidro del Guarco y San Isidro del General en Pérez Zeledón y que en caso de lluvias o sismos puedan generar una interrupción en el tránsito vehicular y una afectación directa a los usuarios. Los resultados de este informe son insumos para alertar a la Administración y para la toma de decisiones que permitan establecer la óptima intervención que solucione la problemática en estos sitios. Además, se visitaron sitios que fueron afectados por deslizamientos ocurridos desde el año 2017 y que ya han sido intervenidos, con el fin de evaluar las intervenciones e indicar oportunidades de mejora tendientes a preservar la inversión que se ha realizado y no reconstruir la vulnerabilidad.

3. METODOLOGÍA Y ALCANCE DE LA EVALUACIÓN

Las evaluaciones que realiza la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional (UGERVN) del LanammeUCR incluyen entre otras actividades las inspecciones de campo, con el fin de complementar la información recabada en informes anteriores sobre el estado de los diferentes componentes de la infraestructura vial.

Esta evaluación “*in situ*” se encuentra enmarcada dentro de proyecto denominado “Evaluación y monitoreo de activos geotécnicos” a ser desarrollado durante el año 2021 en la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial del LanammeUCR.

Para la elaboración de este informe se hizo una recopilación de antecedentes de los puntos evaluados. Se hicieron varias giras de campo desde octubre del 2020 durante la cuales se evaluaron las condiciones geológicas, topográficas y de manejo de aguas superficiales de los sitios evaluados. El trabajo de campo y recolección de datos se completó con giras durante los primeros meses del año 2021. Hay sitios evaluados en este informe a los que se les ha dado seguimiento desde el año 2015 (algunos ya han sido intervenidos), también son mencionados en este informe y se comentan algunas observaciones que son importantes para mantener y resguardar la inversión que se ha realizado en estabilizar esos sitios. Además del trabajo de campo mencionado, se realizaron varios levantamientos fotogramétricos con un vehículo aéreo no tripulados (VANT) Inspire 4 DJI. Posteriormente en la oficina se generaron los modelos de elevación digital, un mosaico de ortofotografías, un análisis geomorfológico o geológico de los sitios y un análisis de vulnerabilidad de las condiciones de los sitios evaluados.

4. OBSERVACIONES SOBRE LOS DESLIZAMIENTOS Y PUNTOS EVALUADOS

4.1 Ubicación de la zona de estudio

Este informe trata sobre la evaluación de 16 puntos donde existen problemas activos de inestabilidad en taludes, así como sitios que ya han sido intervenidos, a los cuales se les da seguimiento para determinar la evolución de las intervenciones. Cada sitio se identifica con la siguiente nomenclatura P01-R2, donde lo que cambia son los primeros dos dígitos según corresponda al sitio evaluado, desde San Isidro del Guarco en Cartago hasta San Isidro del General. Todos los puntos evaluados en este informe se encuentran en la Ruta Nacional N°2. Esta una de las rutas más importantes del país y comunica las principales ciudades del Valle Central como San José y Cartago con San Isidro del General y la zona del sur del país, para luego continuar hasta la frontera con Panamá (Figura No. 1).

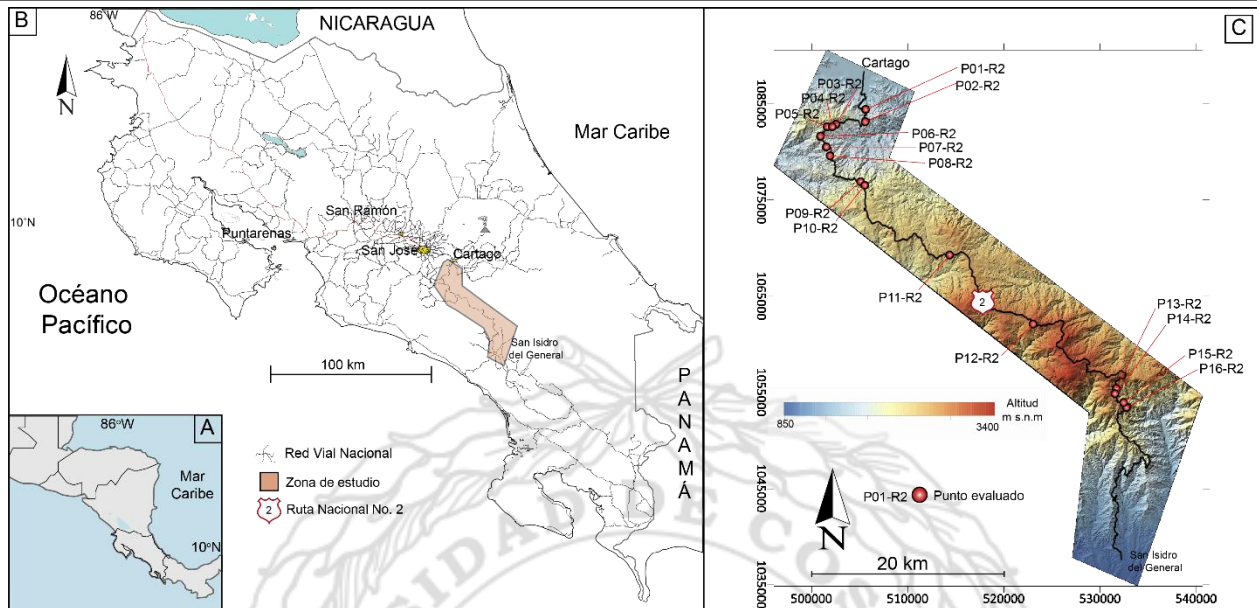


Figura No. 1. Localización de la zona evaluada mostrada en detalle en el modelo de elevación de la derecha. Se aprecia la ubicación de los 16 puntos evaluados en este informe con una nomenclatura P01-R2 en orden creciente, desde EL Guarco hasta San Isidro del General sobre en Ruta Nacional N° 2.

EL tramo evaluado se encuentra entre San Isidro del Guarco y San Isidro del General, en el sector conocido como Cerro de la Muerte. Esta ruta es una de las más importantes del país, siendo uno de los ejes estructurantes de interconexión logística consolidada de Costa Rica, esenciales para comercio internacional o regional por volumen de carga o participación en el comercio exterior del país y en el contexto actual se considera, junto con el corredor de la Costanera (Ruta Nacional No. 34), como otro de los ejes de conectividad de la zona central del país con la zona Sur del país y parte de la redundancia de la red vial para esta zona.

La zona en estudio se caracteriza por ser montañosa, escarpada y con procesos intensos de meteorización y erosión superficial natural; acelerada, en algunos casos, por los cortes en taludes con pendiente muy pronunciadas que se hicieron para construir la carretera y que continuamente presentan deslizamientos. La zona de estudio presenta un sistema de drenaje dendrítico en microcuencas que fluyen desde las zonas con mayor altitud (3500 m s.n.m.) hacia zonas más bajas (800 m s.n.m). Un gran tramo de la sección de montaña de la RN-2 (Ruta Nacional No.2) fue construida sobre la divisoria de aguas continental, por lo que no presenta puentes o pasos importantes de ríos y las microcuencas pueden dirigir sus aguas tanto hacia el sector Caribe como hacia el Pacífico (Figura No. 1).

El sector de montaña que atraviesa la RN-2 presenta una geología variada con rocas de origen, sedimentario, ígneas (intrusivas y volcánicas), así como rocas metamórficas de bajo grado por contacto con cuerpos intrusivos (baja presión - baja temperatura). La alteración hidrotermal por fallas tectónicas en este tipo de materiales es uno de los principales causantes de la meteorización intensa que presentan las rocas de esta zona.

Se evaluaron 16 puntos específicos en este tramo debido a la presencia de deslizamientos que desde el 2015 han impactado en algún momento directamente el funcionamiento de la carretera y, que, de continuar sin una intervención adecuada, podrían llegar a implicar un colapso completo de la ruta por la vulnerabilidad detectada. De estos puntos evaluados, algunos ya han sido intervenidos, pero son incluidos aquí para darle seguimiento a las obras realizadas. La ubicación exacta de los sitios evaluados se presenta en la Figura No.1 y en el Cuadro No.1.

Cuadro 1. *Coordenadas de la ubicación según la proyección CRTM-05, estacionamiento y altitud de sitios evaluados.*

| Código | Ubicación | | Estacionamiento | Altitud m s.n.m. |
|--------|-----------|------------|-----------------|---------------------|
| | Este | Norte | | |
| P01-R2 | 505511.00 | 1084394.00 | 31+557 | 1620 |
| P02-R2 | 505528.00 | 1083218.00 | 33+764 | 1721 |
| P03-R2 | 502513.00 | 1082844.00 | 37+806 | 1848 |
| P04-R2 | 502049.26 | 1082619.67 | 38+368 | 1855 |
| P05-R2 | 501615.00 | 1082566.00 | 38+847 | 1886 |
| P06-R2 | 500855.00 | 1081537.00 | 40+205 | 1868 |
| P07-R2 | 501483.85 | 1080464.69 | 41+615 | 1856 |
| P08-R2 | 501933.00 | 1079589.00 | 42+975 | 1873 |
| P09-R2 | 505068.00 | 1076899.00 | 48+899 | 2076 |
| P10-R2 | 505504.00 | 1076507.00 | 50+153 | 2158 |
| P11-R2 | 514313.00 | 1069229.00 | 66+175 | 2559 |
| P12-R2 | 522988.00 | 1062054.00 | 80+791 | 2971 |
| P13-R2 | 531629.67 | 1055276.80 | 101+046 | 2812 |
| P14-R2 | 531523.01 | 1054822.05 | 101+747 | 2775 |
| P15-R2 | 532393.11 | 1053947.53 | 103+778 | 2624 |
| P16-R2 | 532653.46 | 1053373.33 | 105+354 | 2527 |

4.2 Antecedentes de los sitios evaluados

En los anexos se presentan una serie de imágenes satelitales tomadas de la plataforma de Google Earth, desde el año 2006 y hasta el año 2020, de cada uno de los puntos evaluados en este informe. Muchos de los deslizamientos estudiados aparecen por primera vez en las imágenes satelitales de Google Earth después del año 2018, esto indica que se pueden correlacionar con el paso de la Tormenta Nate en el año 2017, siendo este evento el desencadenante de muchos de los movimientos de masa que se presentan en la ruta. Durante la estación lluviosa de los años 2018, 2019 y 2020 también se generaron eventos disparados por lluvias, especialmente por los Huracanes Eta e Iota.

4.3 Geomorfología y pendientes de la zona de estudio.

Geomorfológicamente, la zona de estudio asociada a la carretera corresponde con laderas denudacionales de origen volcánico, sedimentario intrusivo y metamórfico de contacto. Son laderas montañosas con pendientes moderadas a fuertes ($> 16^{\circ}$ - 55°) producto de la meteorización y erosión intensa que se ha dado en las rocas de las Formaciones, Pacacua, Peña Negra, San Miguel, Coris, La Cruz, Tapantí, Grifo Alto por millones de años. Estas laderas son disectadas por valles fluviales con un patrón de drenaje dendrítico, donde, en algunos casos, sus márgenes pueden presentar pendientes fuertes (55°) (Figura No.2). Las laderas asociadas con cuerpos intrusivos (Intrusivos de Talamanca) se ubican principalmente hacia el sur de la RN-2, después del Cerro de La Muerte (por ejemplo, cerca de los puntos P15-R2 y P16-R2), presentan pendientes que superan los 35° y pueden llegar hasta ser casi verticales. Esta unidad se caracteriza por presentar una topografía abrupta y escarpada. Pueden llegar a mostrar diferentes patrones de drenaje que van desde radial, paralelo, subparalelo, hasta dendrítico. El origen de esta unidad se debe a un proceso de erosión diferencial durante millones de años entre rocas de origen intrusivo (monzonitas, granodioritas, monzogabros y sienitas: Obando, 1983), las cuales, al presentar mayor dureza y resistencia a la meteorización y erosión, sus relictos crean relieves positivos respecto a las rocas sedimentarias (areniscas y lutitas principalmente) que afloran en los alrededores y que al ser bandeadas se erosionan con mayor facilidad.

Las zonas con laderas que presentan pendientes superiores a 33° en presencia de materiales muy meteorizados intrínsecamente presentan una mayor susceptibilidad a deslizarse por procesos de exceso de lluvia o sismos. En la zona de estudio, hay varios tramos de la RN-2 que podrían estar expuestas a estas condiciones.

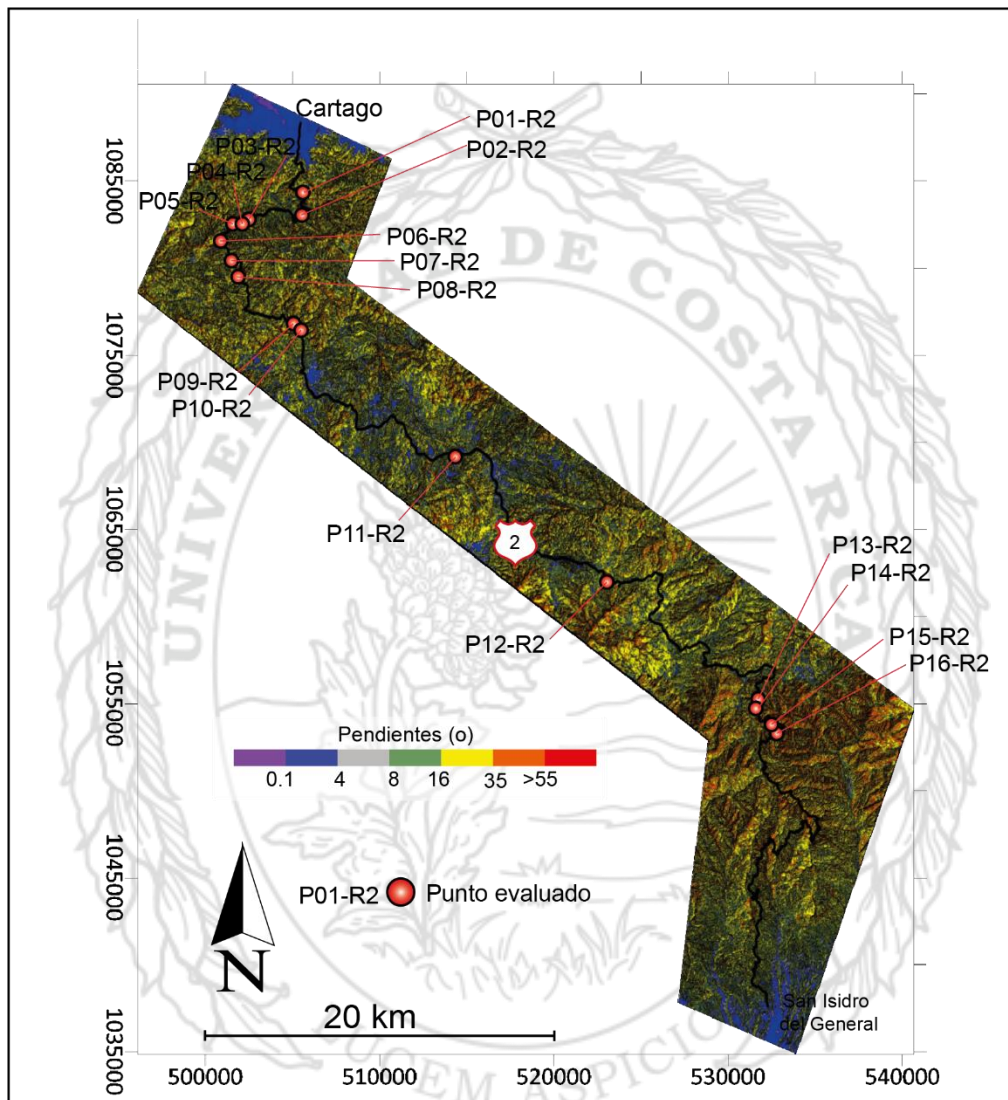


Figura No.2. Información de las pendientes del terreno sobre un modelo de elevación digital del área de estudio. Los sitios evaluados sobre Ruta Nacional No. 2 corresponden con laderas denudacionales de origen volcánico con pendientes moderadas y fuertes con ángulos que varían entre 16 y 35° y en algunos casos principalmente los P15 y P16 presentan pendientes fuertes con ángulos superiores a 55° .

4.4 Geología de los puntos evaluados en la zona de estudio.

Según los mapas geológicos escala 1:50 000 del IGN de las hojas topográficas Iztaquí, Tapantí, Carraigres y San Isidro, los materiales que afloran en las inmediaciones de la carretera entre el Punto 1 y el Punto 10, corresponden con las formaciones Pacacua, Peña Negra, San Miguel Coris, Grifo Alto, La Cruz Tapantí y depósitos recientes (Figura No. 3). Sin embargo, la totalidad de los puntos evaluados, del 1 al 10, se encuentran directamente asociados con rocas la Formación La Cruz. Se muestran como lavas moráceas andesítico basálticas (plagioclasas + piroxenos) con alteración esferoidal. Denyer & Arias (1991) definieron esta formación como un conjunto de lavas predominantemente basálticas y tobas que se sobre ponen concordantemente la secuencia sedimentaria en el Valle Central. Vienen a ser las facies volcánicas concordantes con las sedimentitas, hoy basculadas, y por tanto discordantes bajo las secuencias volcánicas no basculadas.

En los sitios evaluados en este informe, se observaron lavas muy meteorizadas, con alteración hidrotermal y con desarrollo de suelos residuales con un espesor mayor de 5 m, donde la roca madre se encuentra muy alterada y gran profundidad. También hay presencia de fallas tectónicas en la zona de estudio (Figura No.3).

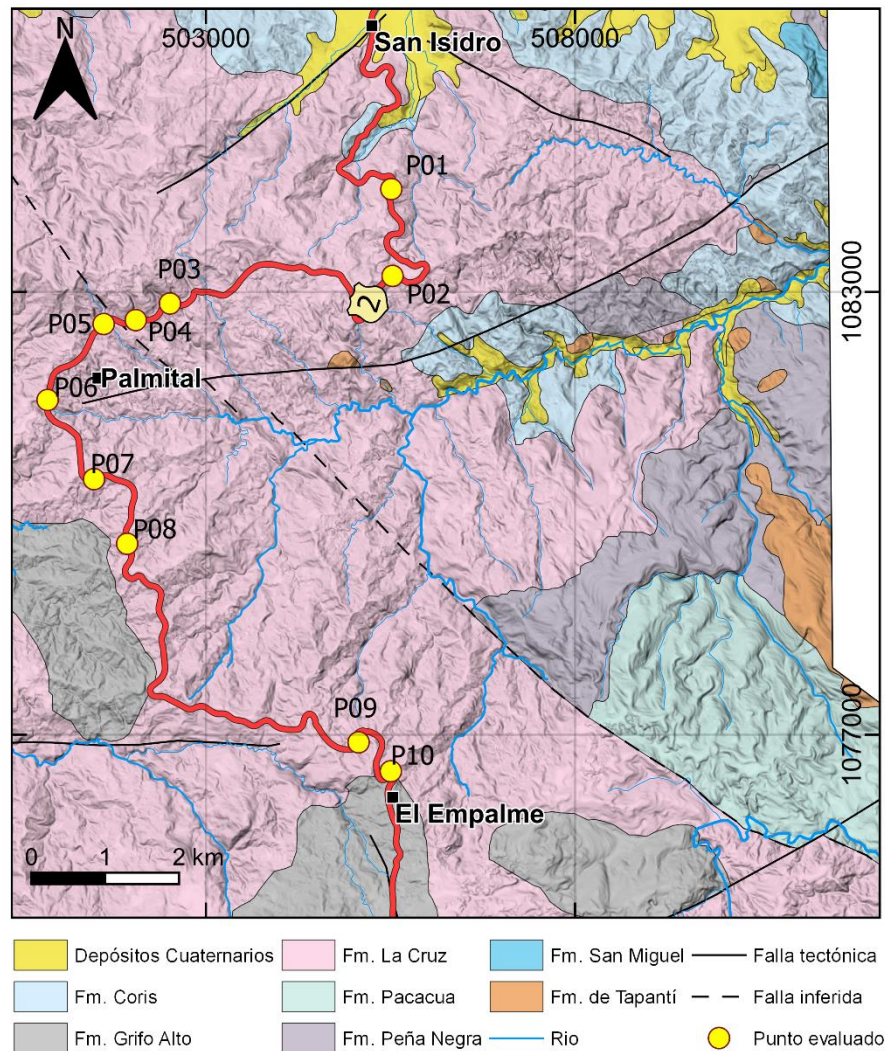


Figura No.3. Mapa geológico de formaciones y rocas asociadas a la RN-2 en el sector entre San Isidro del Guarco y El Empalme, este mapa es basado en el trabajo de Sojo et al., 2017.

Según los mapas geológicos escala 1:50 000 del IGN de las hojas topográficas Iztarú, Tapantí, Carraigres y San Isidro, los materiales que afloran a lo largo de la carretera en los puntos 10 y 11, corresponden con la Formación Grifo Alto y el Grupo Aguacate.

Denyer y Arias (1991) describen la Formación Grifo Alto como una serie de rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas. Barrantes (1991) detalla en aspectos petrográficos y determina que las rocas varían desde basaltos a andesitas, con predominancia de las últimas. Macroscópicamente, las lavas se describen como andesitas con fenocristales de plagioclasa y una matriz oscura con alto grado de meteorización. En el punto 11 se observaron materiales muy

meteorizados, algunos con alteración hidrotermal y con desarrollo de suelos residuales con un espesor mayor de 5 m, donde la roca madre se encuentra muy alterada y gran profundidad. También hay presencia de fallas tectónicas en la zona de estudio (Figura No. 4). El punto 12 según el mapa corresponde con materiales del Grupo Aguacate, estos guardan características muy similares a Grifo Alto, (lavas alteradas).

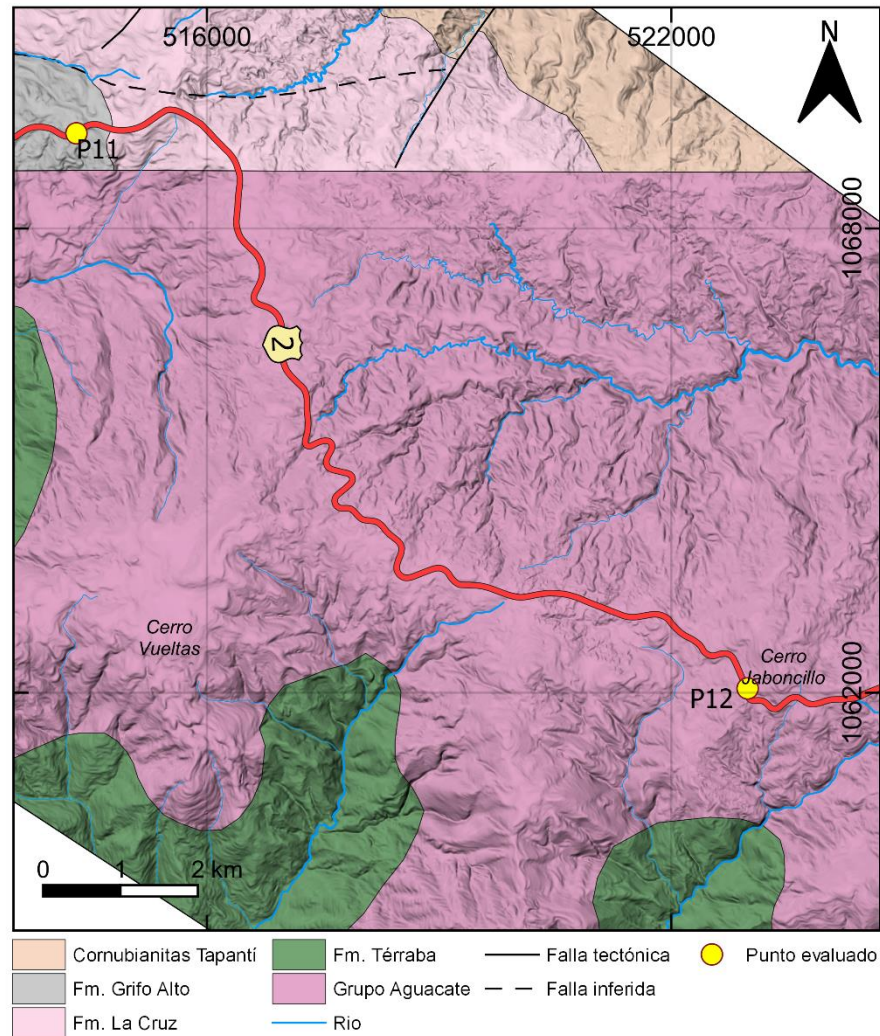


Figura No.4. Mapa geológico de formaciones y rocas asociadas a la RN-2 en el sector entre el P11-R2 y P12-R2, este mapa es basado en el trabajo de Sojo et al., 2017.

Según los mapas geológicos escala 1:50 000 del IGN de las hojas topográficas Istarú, Tapantí, Carairges y San Isidro, los materiales que afloran a lo largo de la carretera entre el Punto 13 y el Punto 16, están asociados con rocas intrusivas de Talamanca, algunos con alteración hidrotermal, también arenitización y con poco desarrollo de suelos residuales con un espesor menor a 1 m, donde la roca madre se encuentra muy alterada y gran profundidad. También hay presencia de fallas tectónicas en la zona de estudio (Figura No. 5).

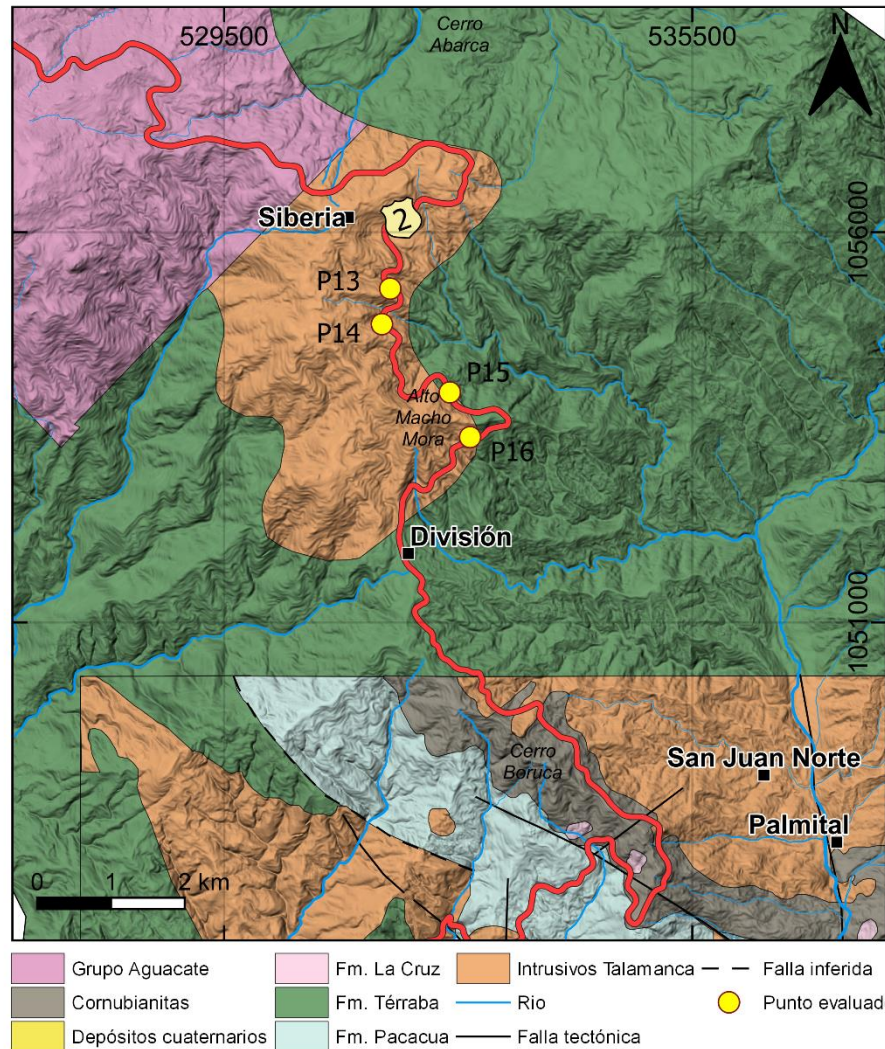


Figura No.5. Mapa geológico de la zona de estudio, donde se muestra la relación de los tipos de roca y fallas tectónicas con los puntos que se evaluaron en este trabajo. Este mapa es un compilado de los mapas escala 1:50 000 de las hojas Tapantí, San Isidro.

4.5 Criterio utilizado para valoración del riesgo

En el análisis de los puntos observados, se incorpora una valoración técnica por medio de observación y análisis del entorno de lo que se ha denominado "riesgo potencial de pérdida de conectividad" y se han definido tres niveles de riesgo potencial:

1. Riesgo potencial bajo, cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida parcial de la conectividad del corredor, pero con posibilidades de recuperar esta conectividad con intervenciones pequeñas o cuando la sección muestre algún nivel de redundancia en la conectividad (rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la red básica de acceso o de los conectores de Integración territorial definidos en el Plan Nacional de Transportes.

2. Riesgo potencial medio cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida significativa de la conectividad del corredor, con la posibilidad de recuperar esta conectividad con intervenciones importantes, pero con algún nivel de redundancia en la conectividad (rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la Red de Distribuidores Regionales definida en el Plan Nacional de Transportes.

3. Riesgo potencial alto cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida total de la conectividad del corredor, con la posibilidad de recuperar esta conectividad con intervenciones mayores y con poca o nula redundancia en la conectividad (inexistencia de rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la Red de Alta Capacidad definida en el Plan Nacional de Transportes

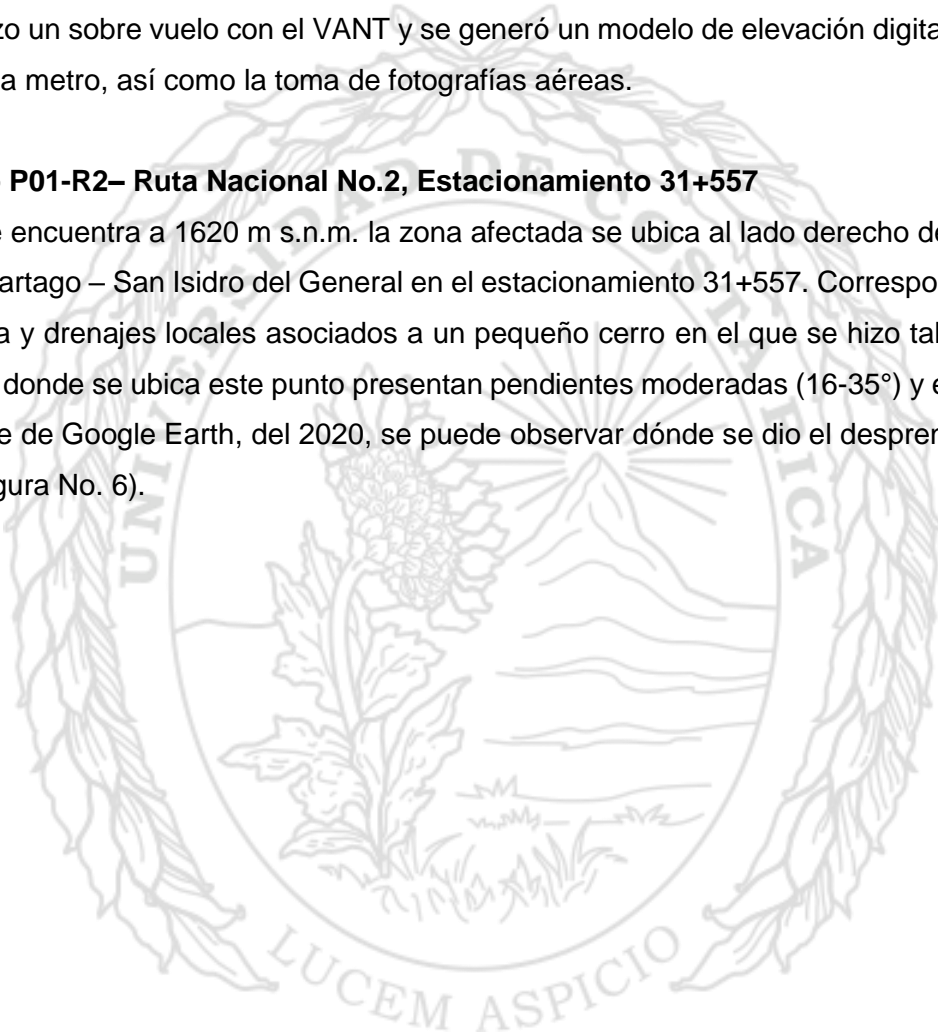
NOTA: Una adaptación de este criterio ha sido utilizado para valoración en el informe LM-IC-D-0955-2020 del 28 de octubre de 2020 y validado por la CGR en el informe de auditoría, Nro. DFOE-IFR-IF-00014-2020 del 14 de diciembre de 2020.

4.6 Patologías detectadas en los puntos evaluados

Se presentan y describen las características observadas en cada uno de los sitios considerando aspectos topográficos, geológicos y geotécnicos del talud evaluado. Para todos los puntos se generaron modelos de elevación digital a partir de curvas de nivel cada 10 m, a los que se les asignó la altitud correspondiente. Además, con la información topográfica, se generó un modelo de pendientes de cada sitio para analizar determinar su susceptibilidad por este factor. En algunos casos se hizo un sobre vuelo con el VANT y se generó un modelo de elevación digital con curvas de nivel cada metro, así como la toma de fotografías aéreas.

4.6.1 Punto P01-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 31+557

Este sitio se encuentra a 1620 m s.n.m. la zona afectada se ubica al lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 31+557. Corresponde con una microcuenca y drenajes locales asociados a un pequeño cerro en el que se hizo talud de corte. Las laderas donde se ubica este punto presentan pendientes moderadas (16-35°) y en la imagen más reciente de Google Earth, del 2020, se puede observar dónde se dio el desprendimiento de material (Figura No. 6).



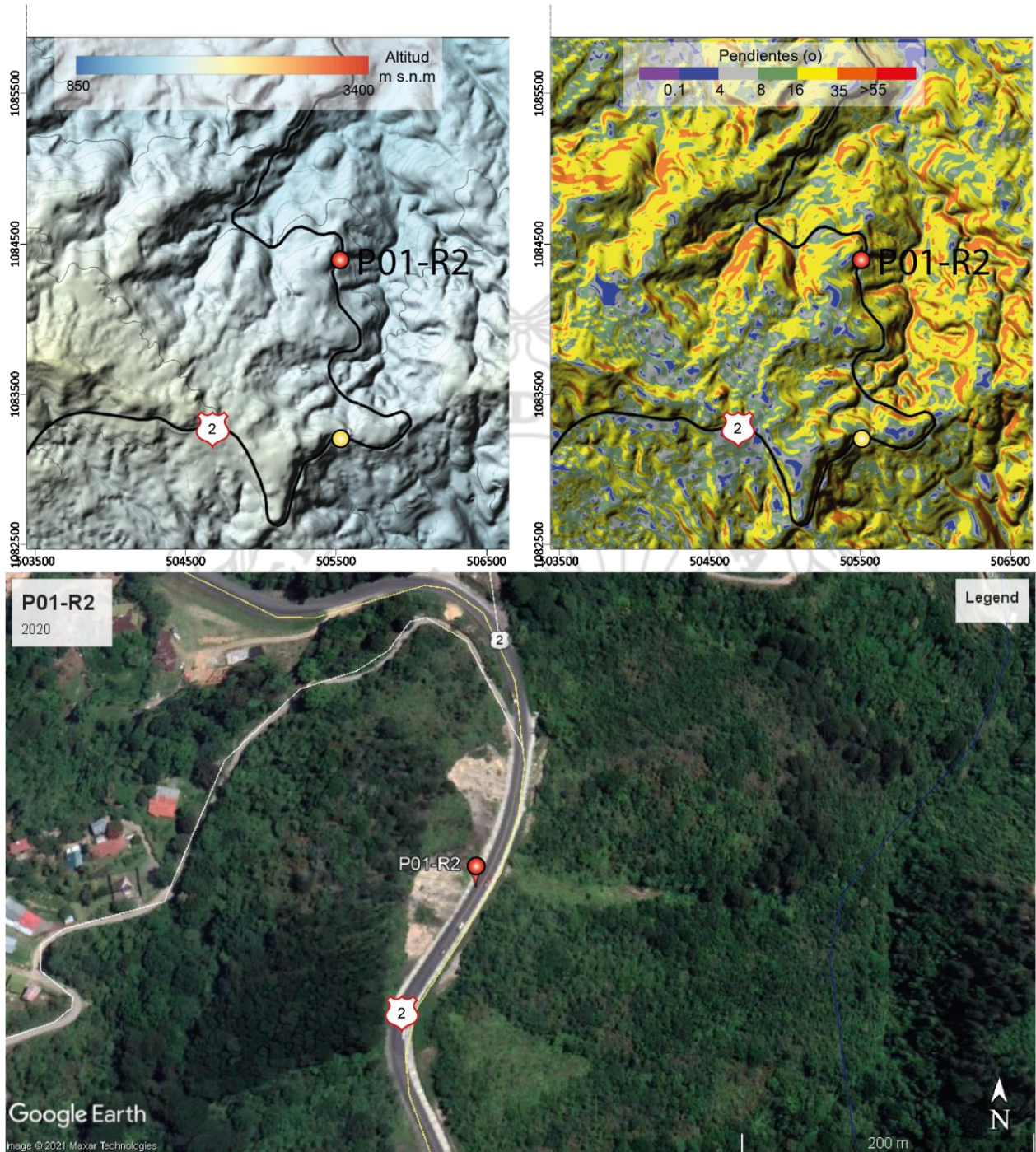


Figura No.6. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P1-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona afectada por el deslizamiento.

La zona afectada tiene una longitud superior a 60 m y el talud presenta una altura superior a los 20 m y sus pendientes son superiores a 35°, aflora material rocoso asociado a la Formación La Cruz, muy meteorizado y que en varios sectores ya ha formado suelo residual.

Se han construido cunetas en la parte inferior del talud y se ha removido la vegetación al pie del talud, tal y como se observa en las siguientes fotografías.



Fotografías 1 y 2. Sitio P01-R2, se observan las cunetas para mejorar el manejo de aguas superficiales.

En este sitio se ha identificado un **Riesgo potencial medio** debido que existen factores que podrían propiciar que se genere nuevamente un deslizamiento y debido a las dimensiones y cantidad de material presente, este evento podría afectar el tránsito en este lugar.

4.6.2 Punto P02-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 33+764

Este sitio se encuentra a 1721 m s.n.m. la zona afectada se ubica al lado izquierdo de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 33+764. Se aprecia un relleno

que se ha ido construyendo en un sitio inestable y que podría afectar el manejo del agua de escorrentía de las obras de estabilización que se realizaron en años anteriores.

En este lugar, en el año 2015, tuvo lugar un deslizamiento que afectó la ruta interrumpiendo el tránsito por varias semanas. Las obras que se construyeron para estabilizar la zona incluyen: Terrazas, muros de gaviones, drenajes superficiales, conformación del terreno, y colocación de mantos superficiales para evitar la erosión. La zona del talud fue estabilizada con anclajes y concreto lanzado (Figura No. 7).



Figura No. 7. Imagen satelital tomada de Google Earth del año 2017, donde se pueden observar las obras de estabilización construidas en este sitio. A la derecha se muestran dos fotografías del relleno que se ha construido en el sector lateral del sitio intervenido y que podría implicar problemas en el manejo de aguas e inestabilidad.

Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas ($16-35^\circ$) y en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar el sitio donde se ha ido depositando el material que conforma este relleno. Este tipo de rellenos o botaderos clandestinos se hacen sin diseño geotécnico y aportan un peso a la parte lateral de la corona del sitio donde se dio el deslizamiento en el año 2015 (Figura No. 8). Además, del peso extra que se añade al sitio también modifica el flujo de agua de los drenajes construidos cuando se hizo la reparación del sitio.

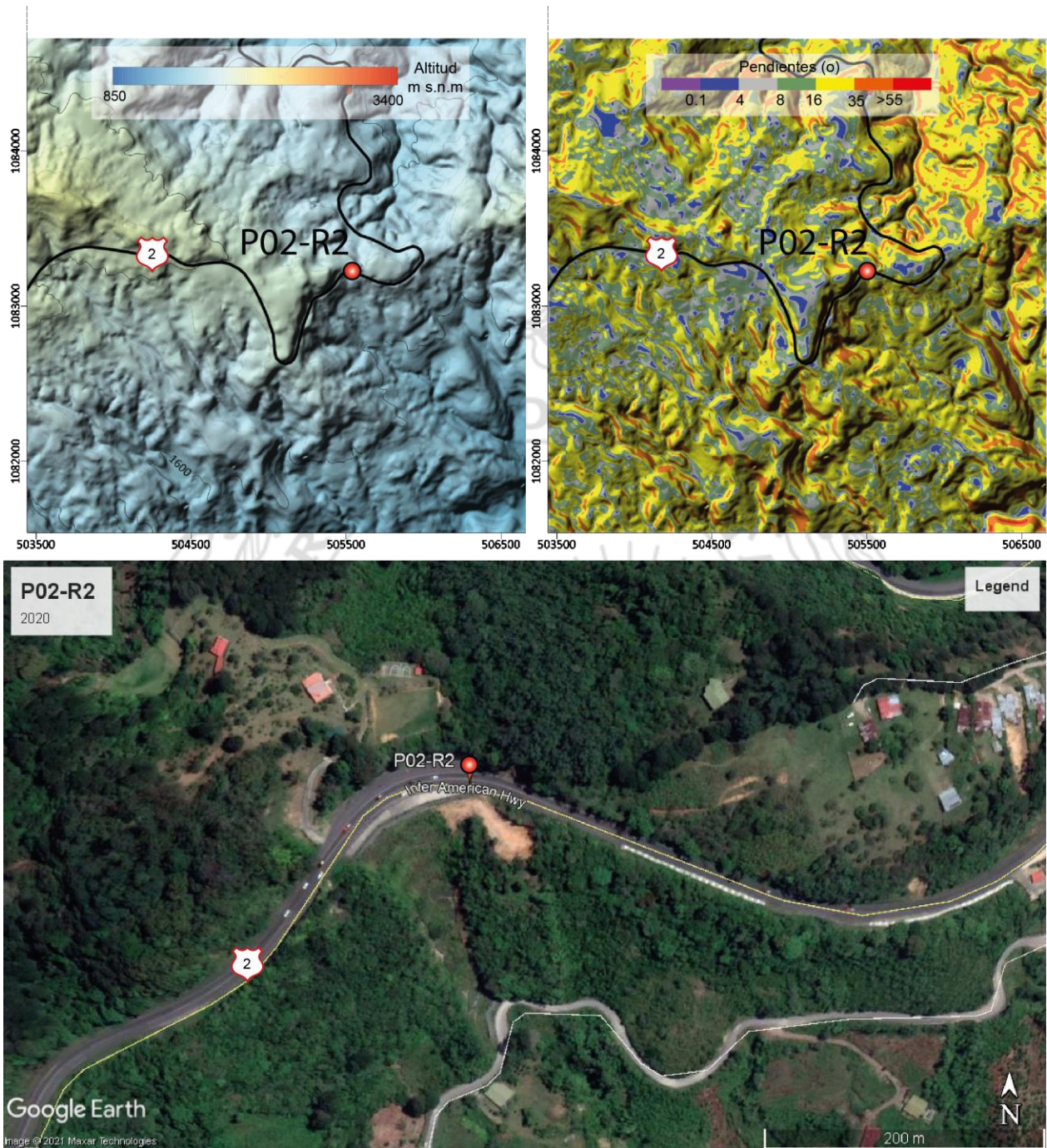
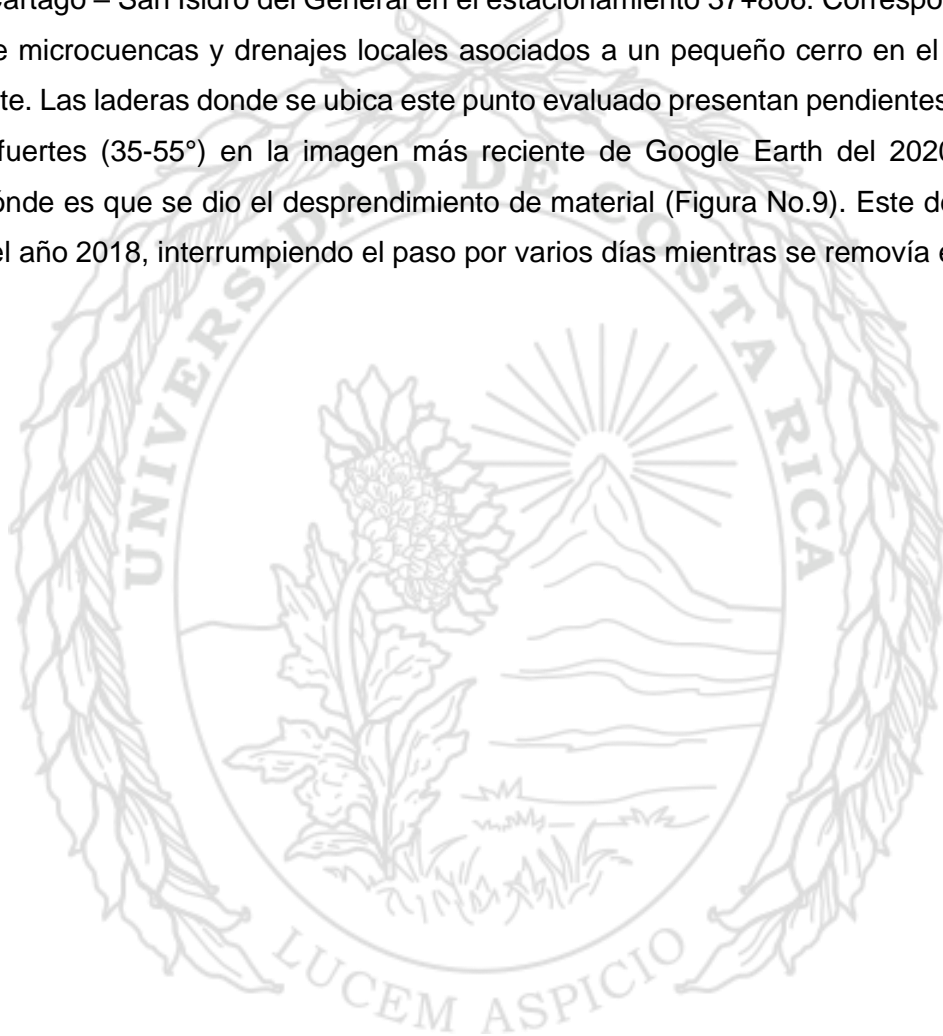


Figura No.8. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas al P2-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona donde se ha ido depositando material para generar un relleno en el sector lateral de donde ocurrió el deslizamiento en el año 2015.

Riesgo potencial bajo, actualmente no hay condiciones que indiquen un riesgo inminente para este sitio, de ocurrir algún evento inesperado no se colapsaría completamente la ruta, por lo tanto, las posibilidades de recuperar la conectividad con intervenciones pequeñas son posibles.

4.6.3 Punto P03-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 37+806

Este sitio se encuentra a 1848 m s.n.m. la zona afectada se ubica al lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 37+806. Corresponde con una ladera entre microcuencas y drenajes locales asociados a un pequeño cerro en el que se hizo talud de corte. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°) en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar dónde es que se dio el desprendimiento de material (Figura No.9). Este deslizamiento ocurrió en el año 2018, interrumpiendo el paso por varios días mientras se removía el material.



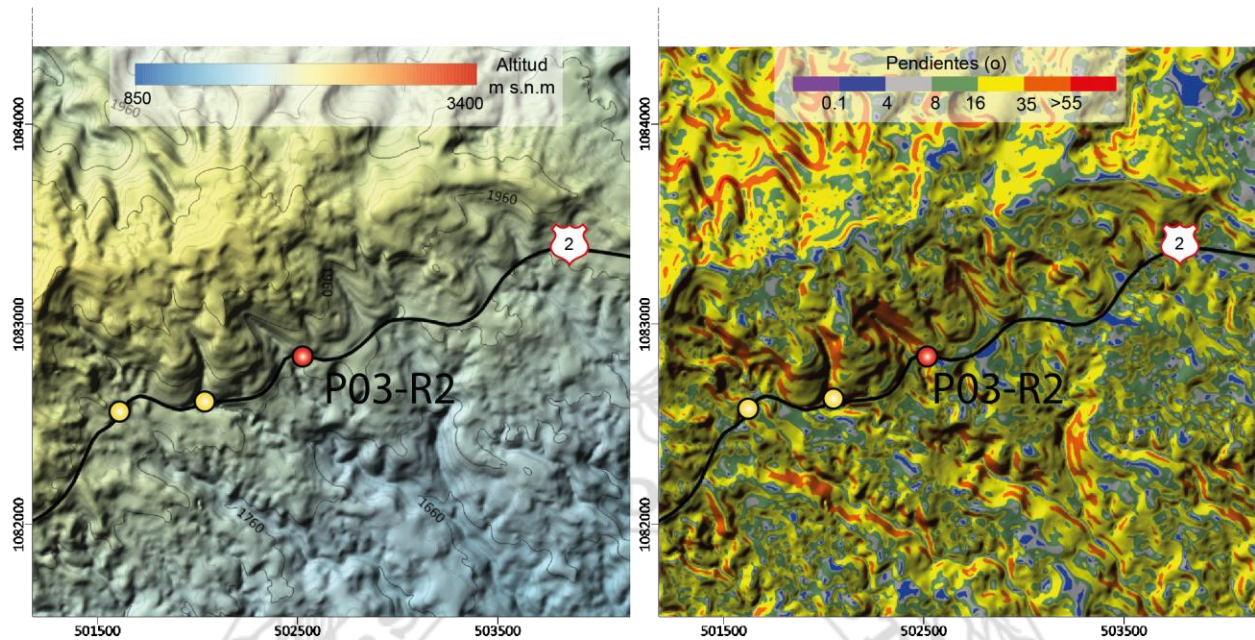


Figura No.9. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P3-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona afectada por el deslizamiento.

En el año 2018, mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT) y técnicas de fotogrametría, se construyó un modelo de elevación digital del sitio (Figura No.10). Para ese momento ya se habían realizado nuevos trabajos de estabilización y conformación de terrazas.

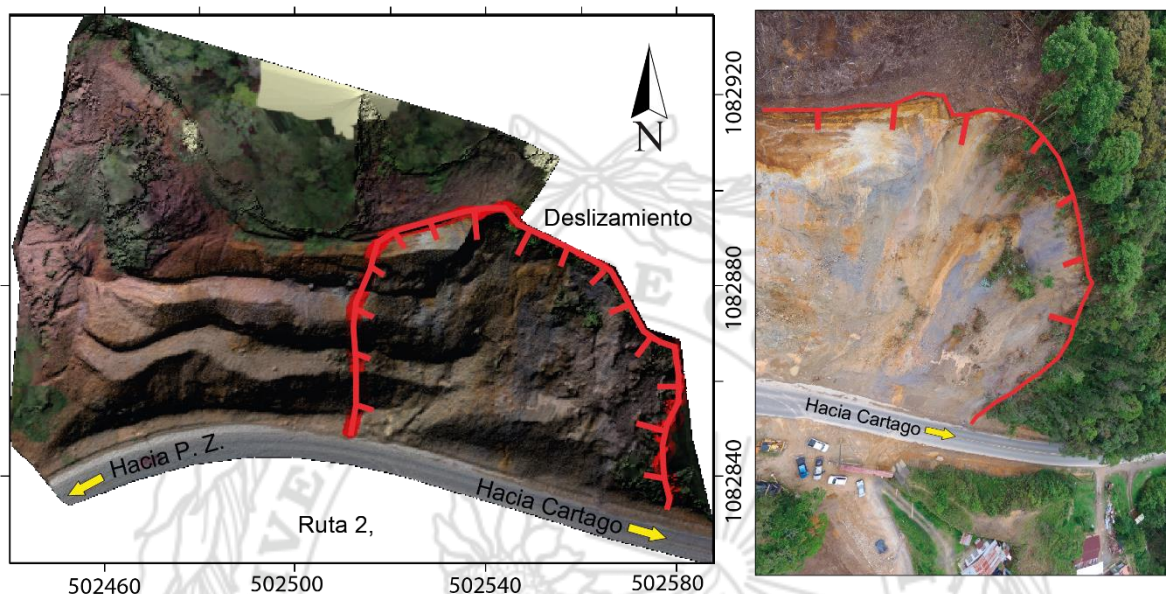


Figura No. 10. Modelo de elevación digital y fotografía aérea del de deslizamiento P03-R2, en RN-2.

El deslizamiento ocurrió en una zona previamente intervenida, en la que se había realizado un trabajo de estabilización mediante la generación de taludes (al menos tres terrazas). La zona intervenida y el deslizamiento presentan un largo de 120 y 40 m respectivamente. Además, presenta una diferencia de altura desde la calzada a la parte más alta de 50 m aproximadamente. En el MED (Modelo de Elevación Digital) generado para este sitio, se pueden observar las pendientes de los taludes de cada una de las terrazas del trabajo previo y en la corona del deslizamiento. En estos sitios, los ángulos presentes son superiores a 35° como se muestra en la Figura No. 11. En el sector oeste del sitio hay una zona de acceso que presenta pendientes entre $16 - 35^\circ$, que se observó agrietada y con problemas de manejo de aguas. En esta zona inestable se podrían dar deslizamientos donde los materiales removidos irían a dar a una quebrada y podrían obstruir una alcantarilla que pasa bajo la ruta.

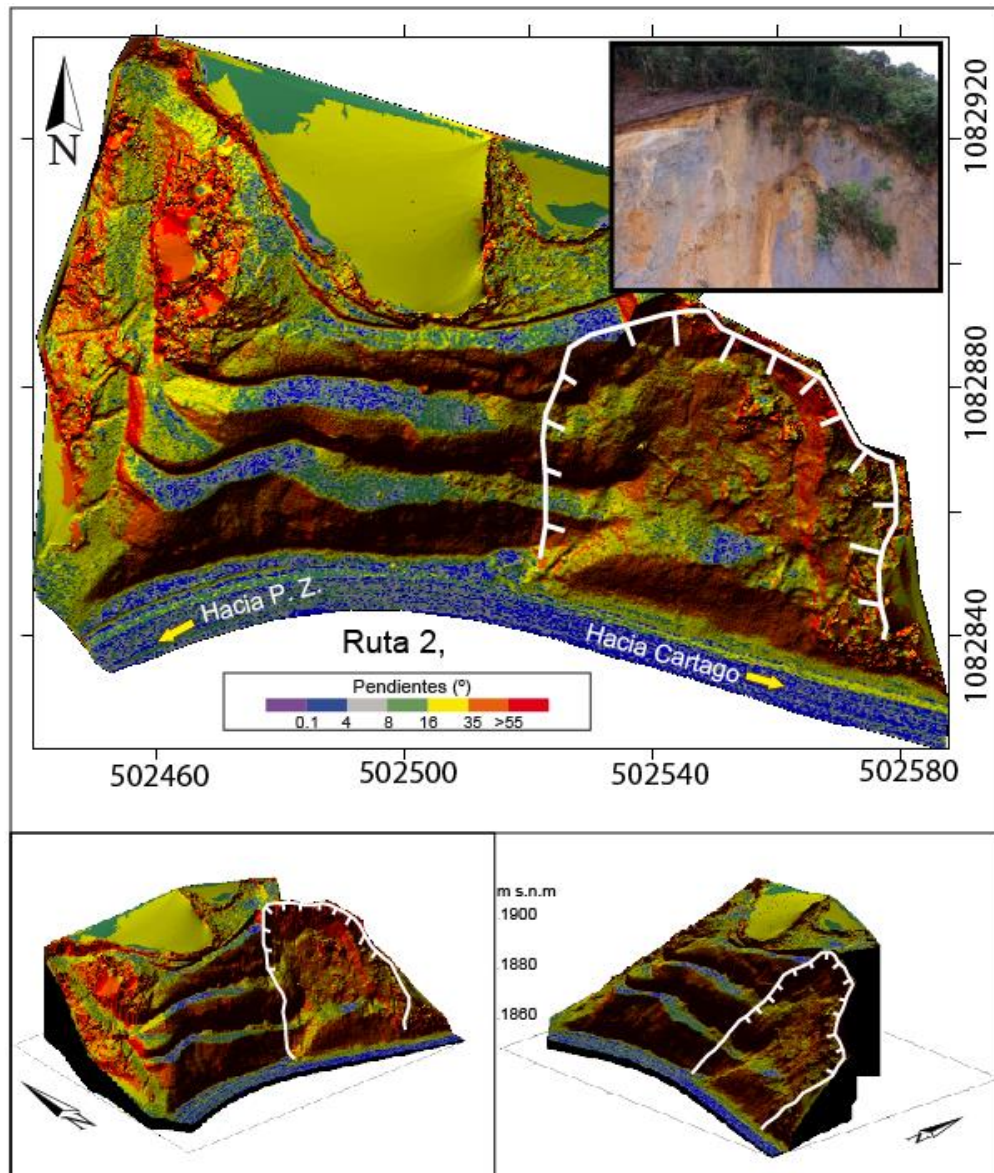


Figura No. 11. Diferentes vistas del modelo de elevación digital del sitio de estudio con las pendientes que presentan los taludes en grados. Se observa, que la zona deslizada presente pendientes superiores a 35° y en la corona $> 55^\circ$ como se muestra en la fotografía insertada en la figura.

Los materiales geológicos presentes en el sitio corresponden con lavas de tipo andesitas de la Formación La Cruz, con diferentes grados de meteorización y alteración hidrotermal. En la parte inferior del primer talud y el piso del segundo, aun se pueden observar rocas de color gris claro

fracturadas. El resto de los materiales presentes en el sitio están arcillitizados y con tonalidades rojizas y moradas (Figura No. 12).

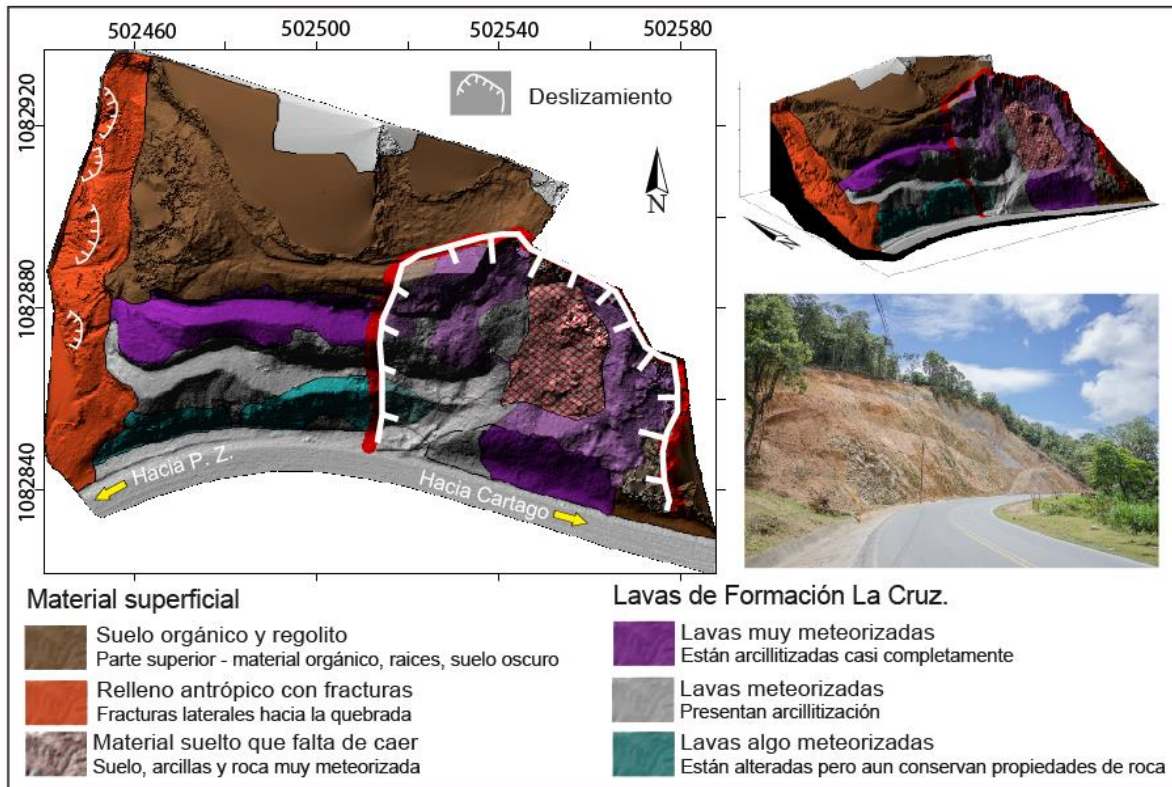


Figura No. 12. Modelo de elevación digital con la geología de los distintos materiales que afloran en el sitio.

En las giras de evaluación del año 2020 y 2021, se pudo observar que en este sitio se hicieron trabajos para mejorar el manejo de aguas superficiales. En las terrazas se colocaron cunetas y bajantes de agua. Sin embargo, no se han atendido los problemas de erosión del talud y esto ha generado socavación y grietas en las cunetas en varios puntos, tal y como se pueden ver en las siguientes fotografías.



Fotografías 3, 4, 5 y 6. Sitio P03-R2. Se observa material deslizado colmatando la cuneta superior del talud. En las fotografías de abajo se muestran las grietas que se presentan en las cunetas y bajantes debido a la pérdida de soporte por la erosión del material.

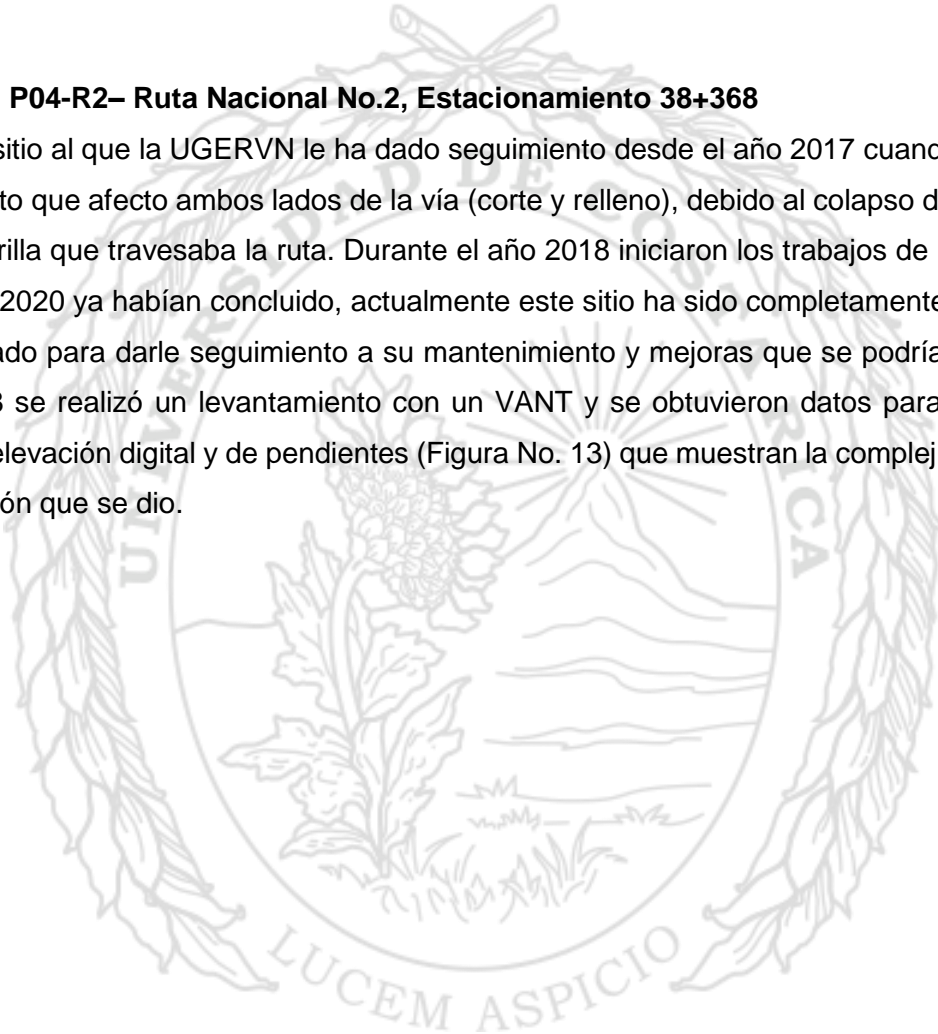
La falta de soporte y el peso de las mismas cunetas genera que estas se fracturen, lo que propicia la infiltración de agua en el talud. También hay caída de material sobre las cunetas lo que genera que pierdan capacidad hidráulica. De no atenderse adecuadamente el problema de erosión en

este talud se podría llegar a perder aún más material que da soporte a las cunetas y estas podrían colapsar perdiéndose así la inversión realizada en la estabilización de este punto.

En este sitio se ha identificado un **Riesgo potencial medio** debido que existen factores que podrían propiciar que se genere nuevamente un deslizamiento y debido a las dimensiones y cantidad de material presente, este evento podría afectar el tránsito en este lugar.

4.6.4 Punto P04-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 38+368

Este es un sitio al que la UGERVN le ha dado seguimiento desde el año 2017 cuando ocurrió un deslizamiento que afectó ambos lados de la vía (corte y relleno), debido al colapso del relleno de una alcantarilla que travesaba la ruta. Durante el año 2018 iniciaron los trabajos de reparación y para el año 2020 ya habían concluido, actualmente este sitio ha sido completamente intervenido y fue evaluado para darle seguimiento a su mantenimiento y mejoras que se podrían hacer. En el año 2018 se realizó un levantamiento con un VANT y se obtuvieron datos para generar un modelo de elevación digital y de pendientes (Figura No. 13) que muestran la complejidad del sitio y la afectación que se dio.



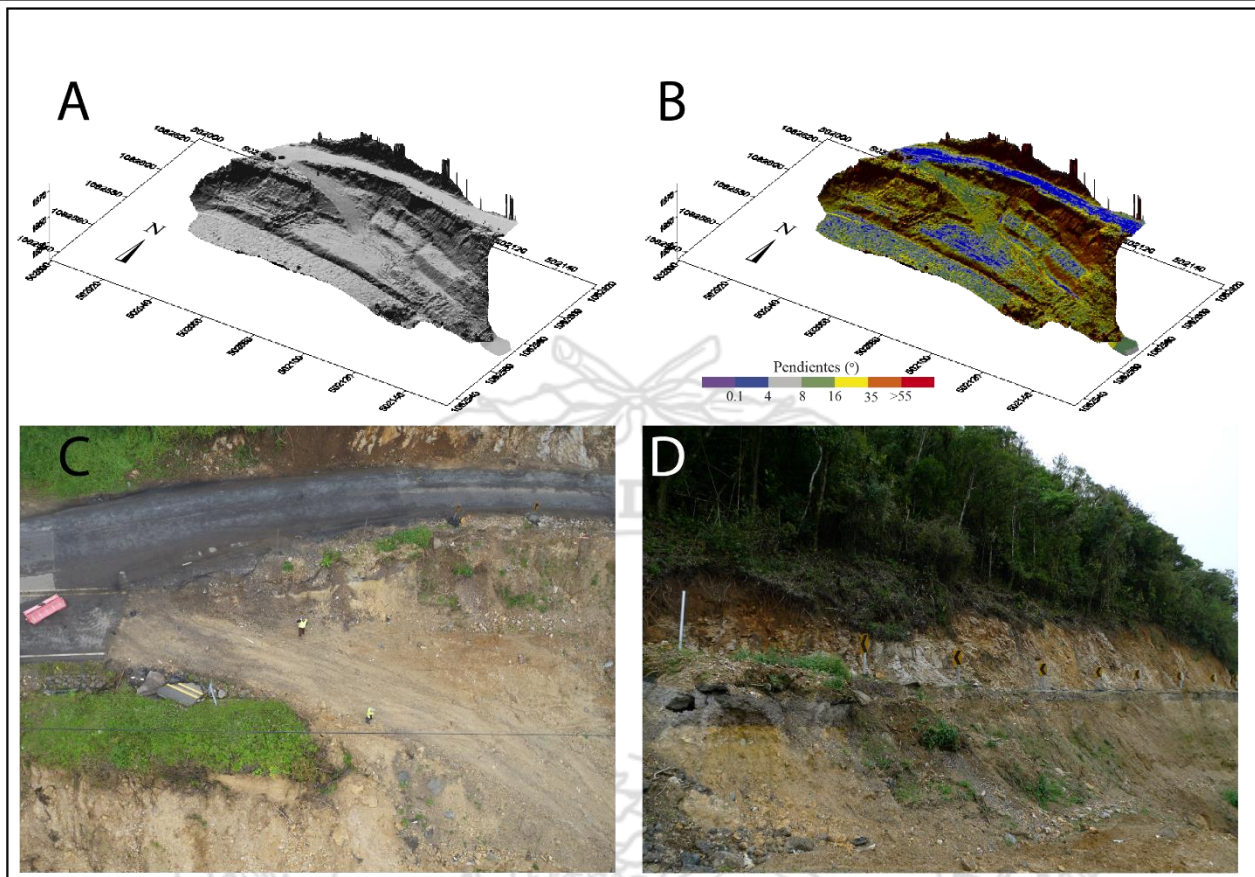


Figura No.13 Modelo de elevación digital y pendientes junto con fotografías del sitio P04-R2 en julio del 2018 durante el inicio de los trabajos de reparación. Se muestra la pérdida de un carril completo de la calzada y las altas pendientes del talud del lado derecho.

Este sitio se encuentra a 1855 m s.n.m en el estacionamiento 38+368. Corresponde con una ladera con drenajes locales que atraviesan la ruta por medio de una alcantarilla, siendo el sector de talud de relleno el que colapsó debido a las intensas lluvias en el año 2017. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°) en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio ya ha sido intervenido (Figura No. 14).

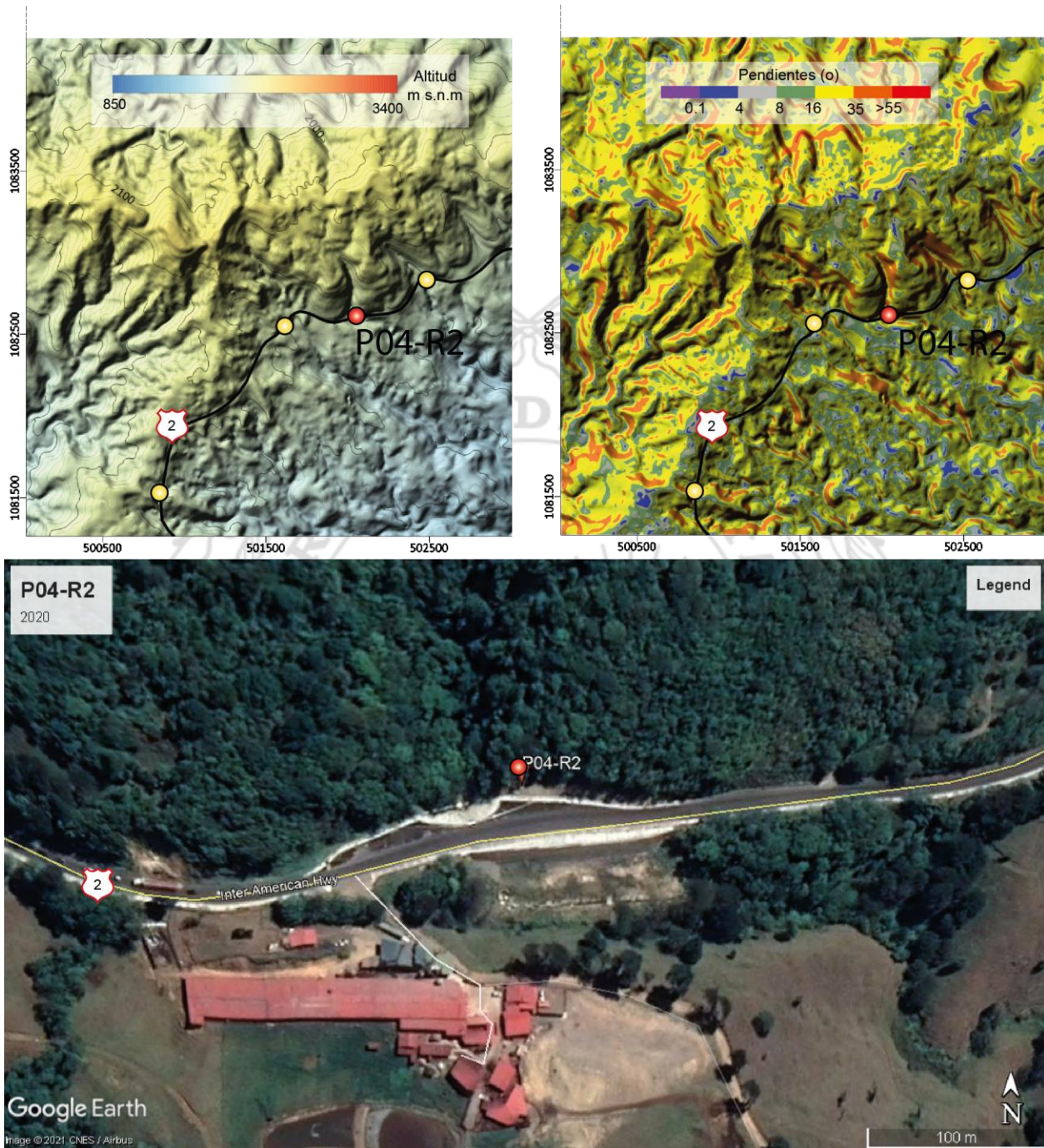


Figura No. 14 Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas al P4-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido intervenida.

Actualmente, el principal problema identificado en el sitio es la posibilidad de caída de bloques del talud del lado derecho de la ruta sobre las cunetas y que estas se pueden obstruir dificultando el manejo de aguas superficiales. La falta de un manto o malla de protección contra la erosión en este talud de roca meteorizada podría favorecer los problemas de erosión y propiciar la caída de bloques. En las siguientes fotografías se muestran las zonas donde se podrían desprender bloques.



Fotografías 7, 8 y 9. Se muestra el talud del lado derecho del sitio P04-R2 donde se podrían generar caídas de bloques debido a la erosión del material fino que da sustento al material de mayor tamaño. El mantenimiento del sistema de drenaje de agua superficial en este sitio es muy importante para mantener en buen estado las obras construidas.

Riesgo potencial bajo, actualmente no hay condiciones que indiquen un riesgo inminente para este sitio, de ocurrir algún evento inesperado no se colapsaría completamente la ruta, por lo tanto, las posibilidades de recuperar la conectividad con intervenciones pequeñas son posibles.

4.6.5 Punto P05-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 38+847

Este sitio se encuentra a 1886 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 38+847. Corresponde con una ladera que se deslizó en un talud de la carretera. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°) en la imagen más reciente de Google Earth del 2020 se puede observar como este sitio ya ha sido reparado mediante la conformación de terrazas y la construcción de cunetas para el manejo de aguas superficiales; sin embargo, los problemas de erosión sobre el talud se siguen presentando (Figura No. 15).

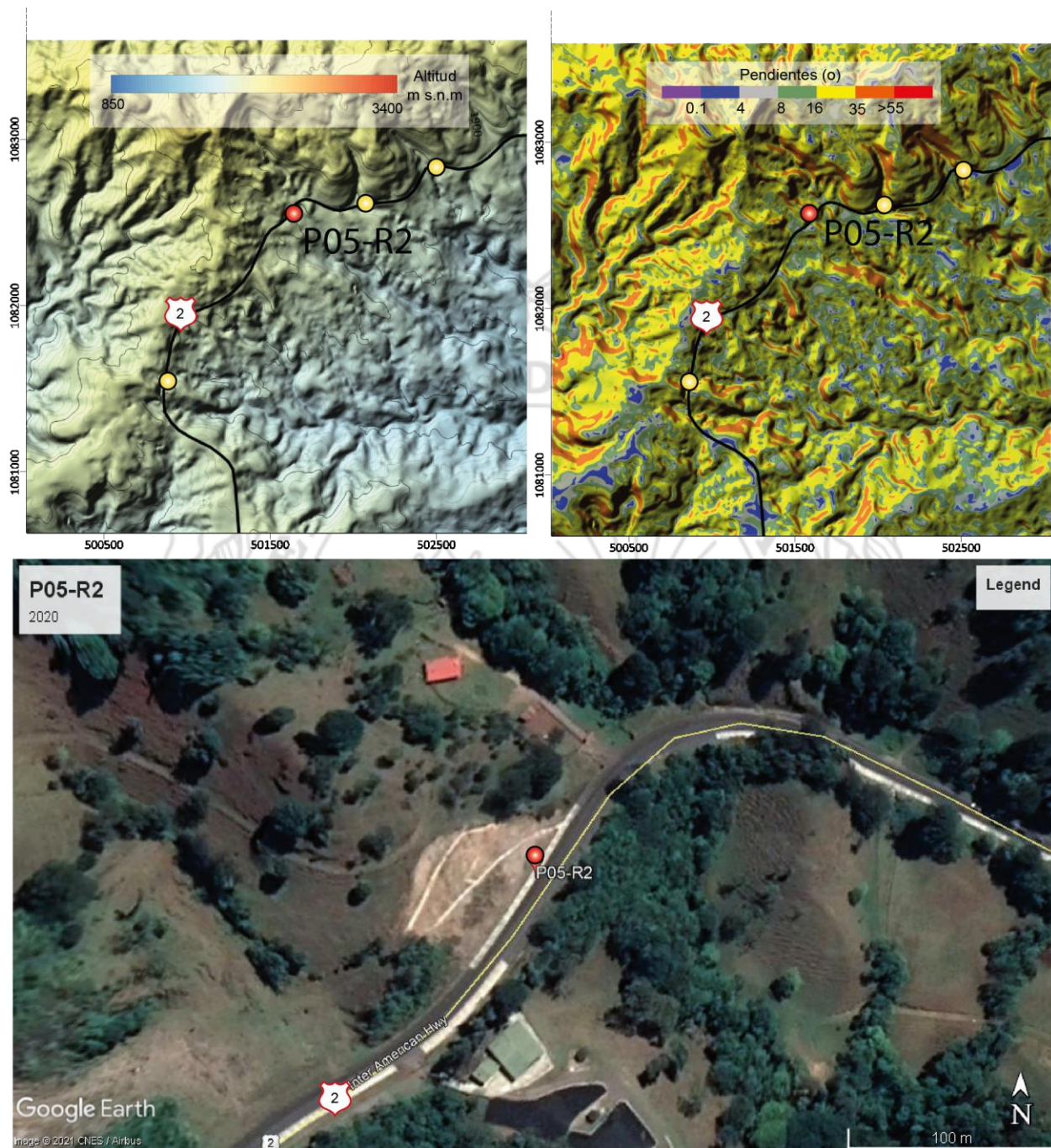


Figura No. 15. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P5-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido intervenida después del deslizamiento.

Este talud tiene una longitud de 100 m con una altura que supera los 20 m. Está conformado por tres terrazas con cunetas y contracunetas. No cuenta con protección contra la erosión por lo que podría generar problemas en las cunetas similares a lo que se observó en el punto P03-R2. Además, no se ha regenerado la vegetación como se observa en la siguiente fotografía.



Fotografía 10. Talud ubicado en el punto P05-R2, se observa la falta de vegetación y que no cuenta con medidas de protección contra la erosión lo que podría generar que el material fino sea removido y las rocas queden sin sustento y caigan.

Riesgo potencial bajo, actualmente no hay condiciones que indiquen un riesgo inminente para este sitio, de ocurrir algún evento inesperado no se colapsaría completamente la ruta, por lo tanto, las posibilidades de recuperar la conectividad con intervenciones pequeñas son posibles.

4.6.6 Punto P06-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 40+205

Este sitio se encuentra a 1868 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado izquierdo de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 40+205. Corresponde con una microcuenca con drenajes en ladera que encausan las aguas hacia un talud de corte y que es atravesado por una alcantarilla. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan

pendientes moderadas ($16-35^\circ$) y fuertes ($35-55^\circ$) en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio ya ha sido reparado (Figura No. 16).

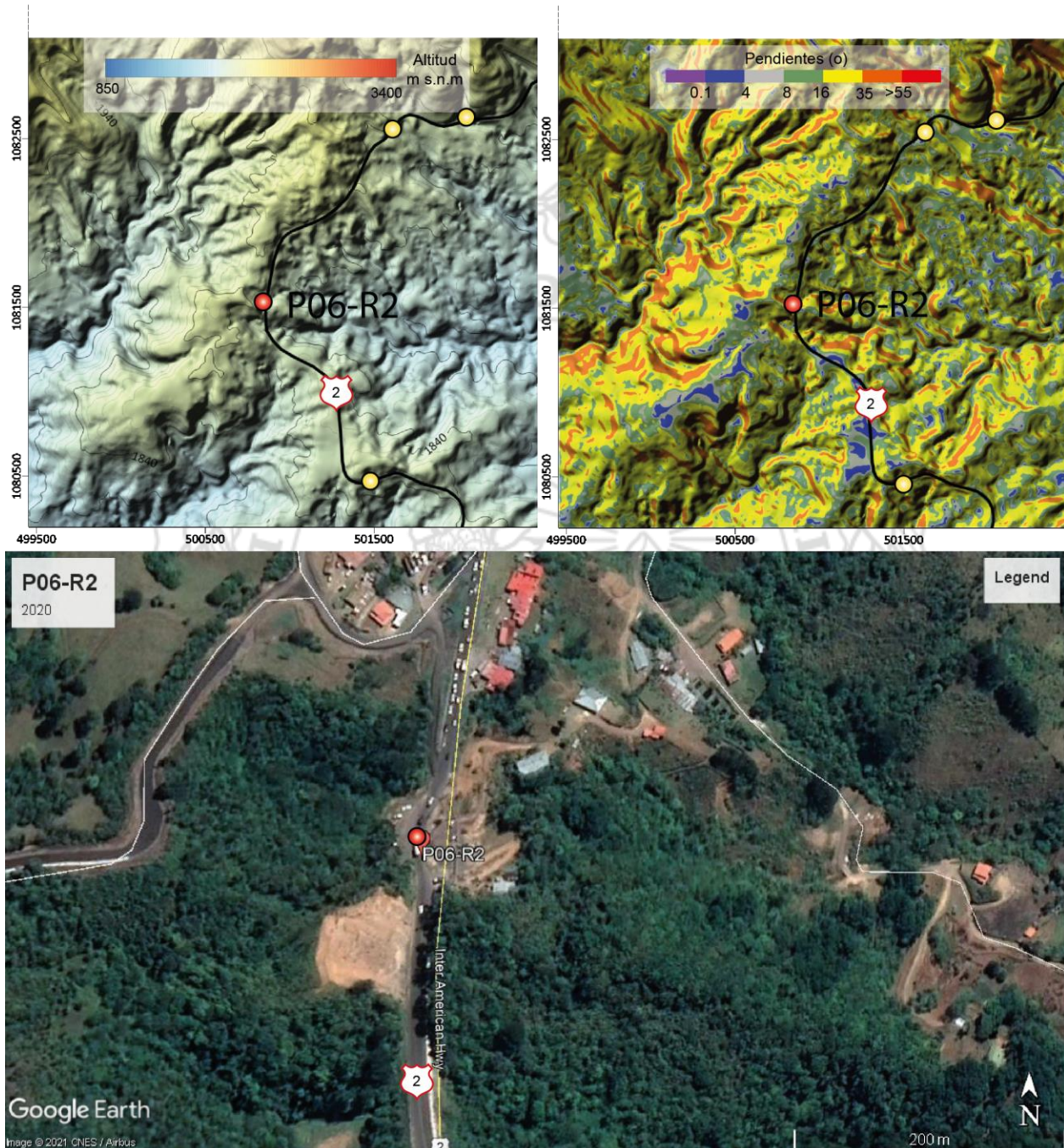


Figura No.16. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P6-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona afectada por el deslizamiento.

Este punto ya ha sido intervenido, se construyó una nueva alcantarilla y un muro de gaviones en el relleno que se había deslizado. Durante las evaluaciones realizadas en 2020 y 2021 no se observaron problemas en las obras de contención y de drenaje construidas en este sitio.



Fotografías 11 y 12. Sitio P6-R2 donde se observa a la izquierda la salida de la alcantarilla y el muro de gaviones construido en el relleno que había colapsado.

Riesgo potencial bajo, actualmente no hay condiciones que indiquen un riesgo inminente para este sitio, de ocurrir algún evento inesperado no se colapsaría completamente la ruta, por lo tanto, las posibilidades de recuperar la conectividad con intervenciones pequeñas son posibles.

4.6.7 Punto P07-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 41+615

Este sitio se encuentra a 1856 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 41+615. Corresponde con un talud de relleno. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°) en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 17).

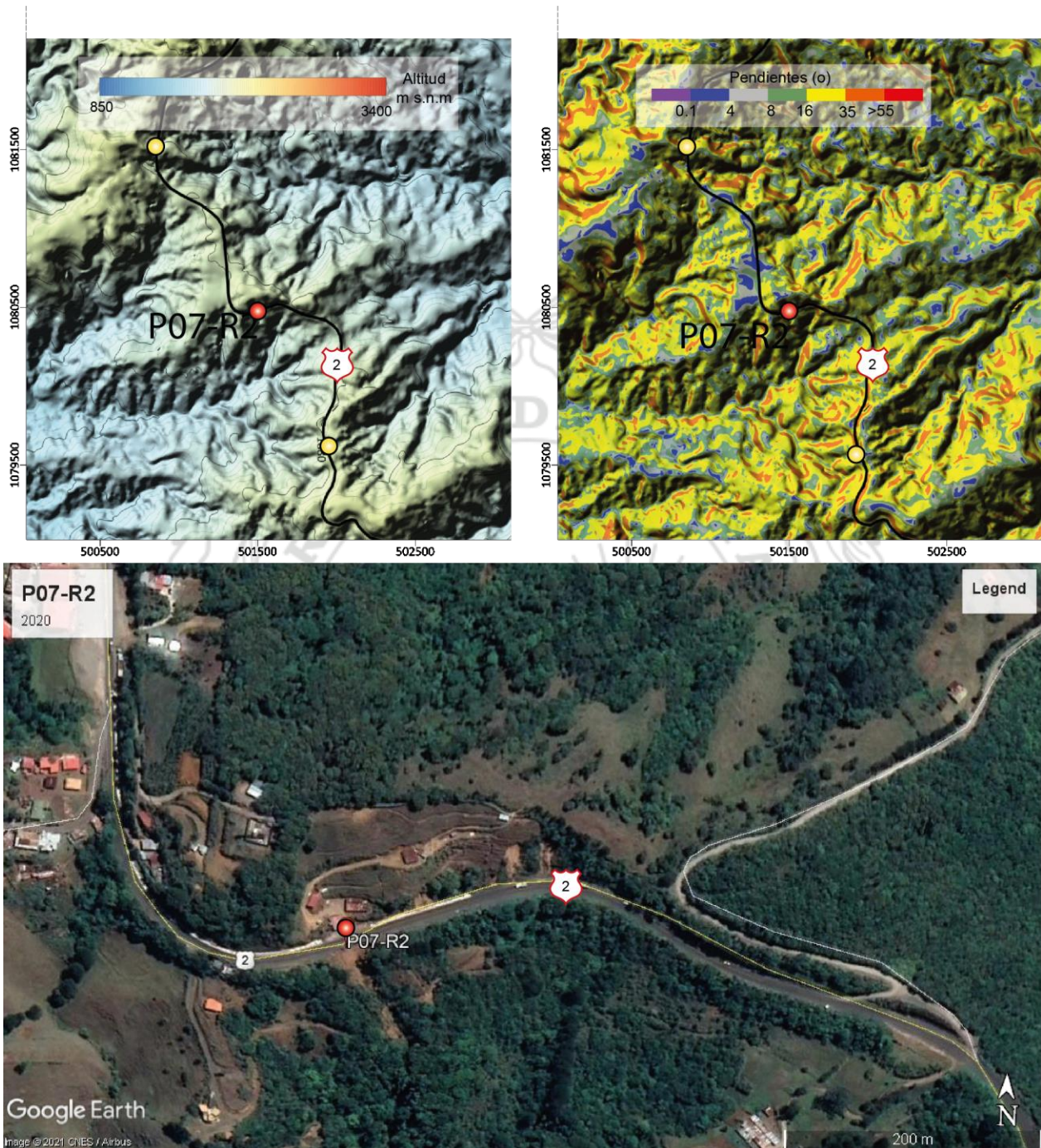


Figura No. 17. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P7-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por el deslizamiento estudiado.

Durante el año 2020 este sitio fue intervenido y en marzo del 2021 se había finalizado la construcción de un muro de gaviones con cunetas y un manto de protección contra la erosión como se puede ver en las siguientes fotografías.



Fotografías 13, 14, 15 y 16. Trabajos de estabilización y protección realizados en el sitio P07-R2.

Riesgo potencial bajo, actualmente no hay condiciones que indiquen un riesgo inminente para este sitio, de ocurrir algún evento inesperado no se colapsaría completamente la ruta, por lo tanto, las posibilidades de recuperar la conectividad con intervenciones pequeñas son posibles.

4.6.8 Punto P08-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 42+975

Este sitio se encuentra a 1873 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado izquierdo de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 42+975. Corresponde a un talud de corte con unos 15 m de alto que presenta evidencias de inestabilidad y problemas de erosión. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°) en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 18).

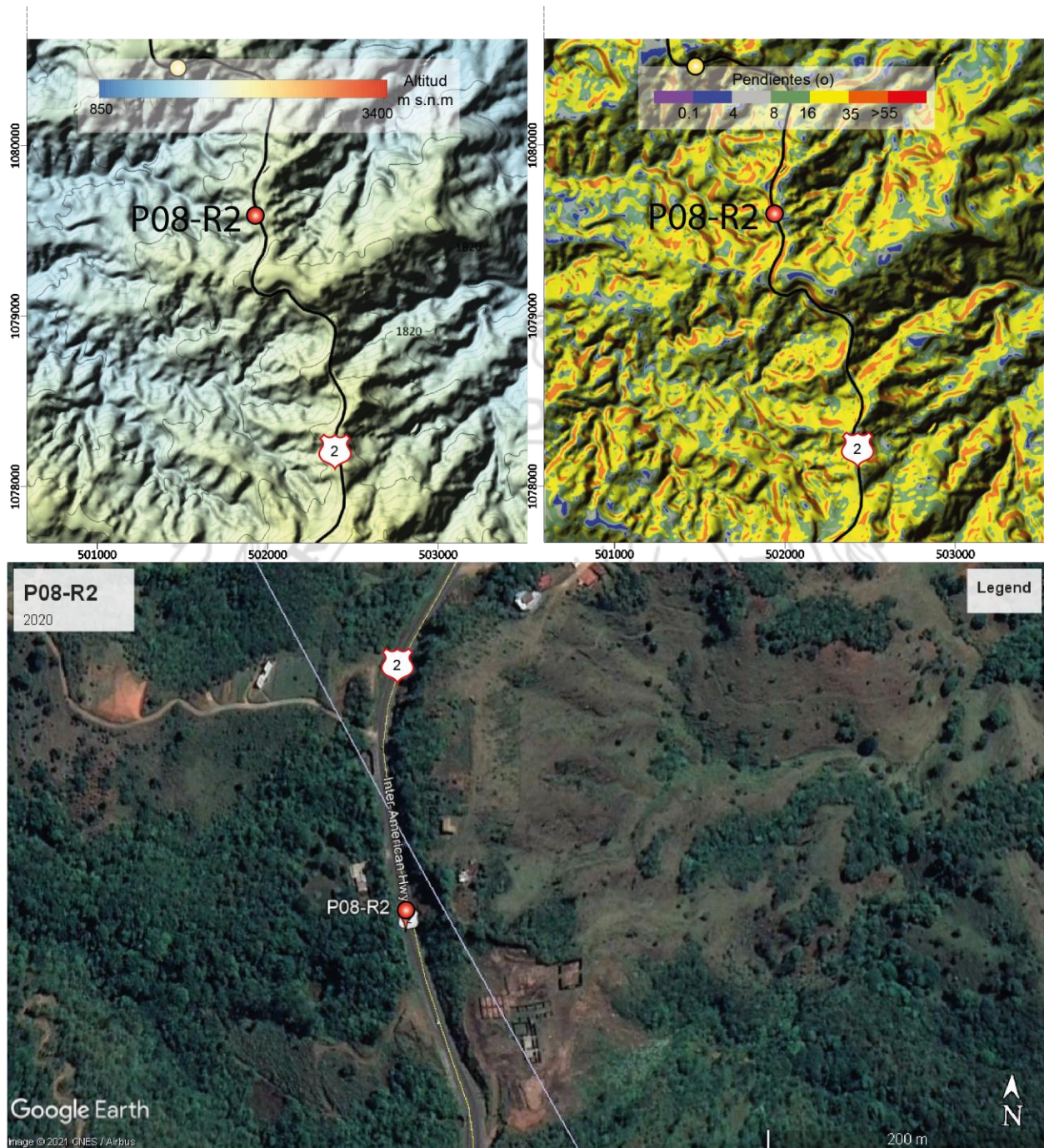
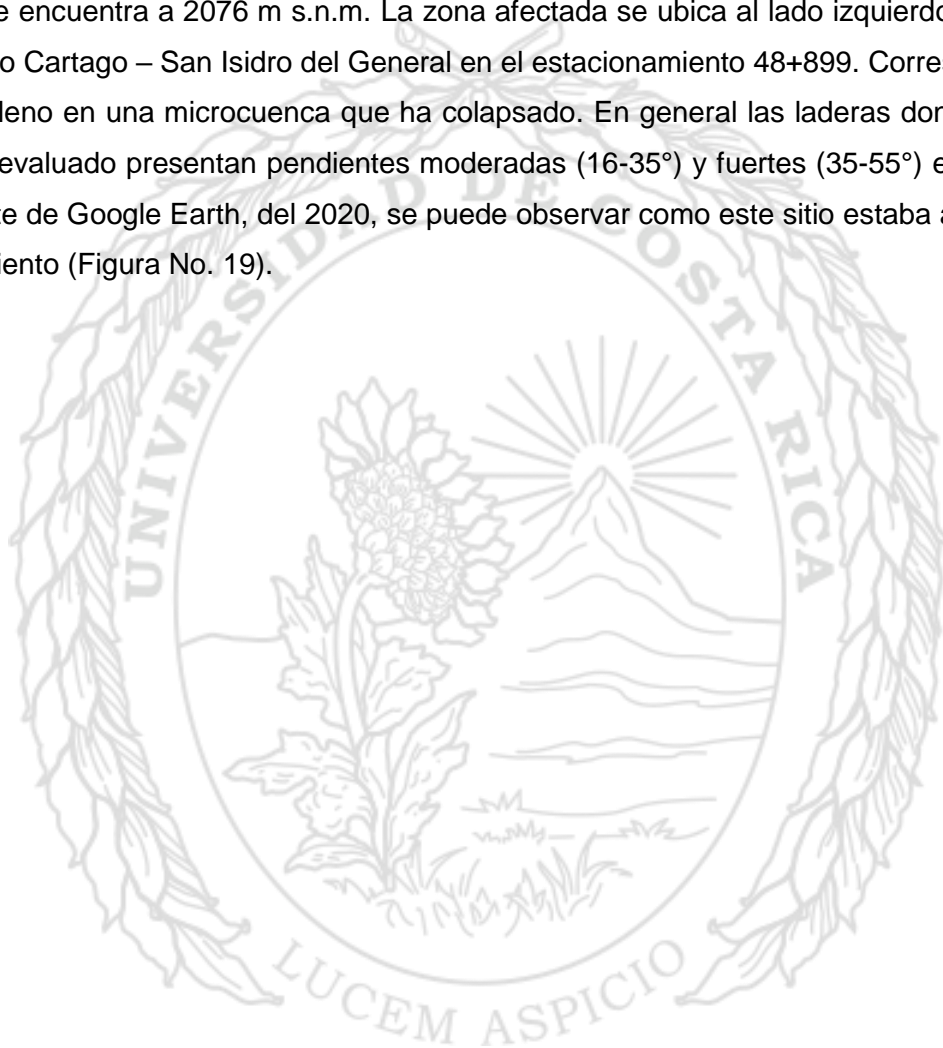


Figura No.18 Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P8-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por el deslizamiento y donde se ha construido un muro de gaviones.

En este sitio se ha identificado un **Riesgo potencial medio** debido que existen factores que podrían propiciar que se genere nuevamente un deslizamiento y debido a las dimensiones y cantidad de material presente, este evento podría afectar el tránsito en este lugar.

4.6.9 Punto P09-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 48+899

Este sitio se encuentra a 2076 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado izquierdo de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 48+899. Corresponde a un talud de relleno en una microcuenca que ha colapsado. En general las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°) en la imagen más reciente de Google Earth, del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 19).



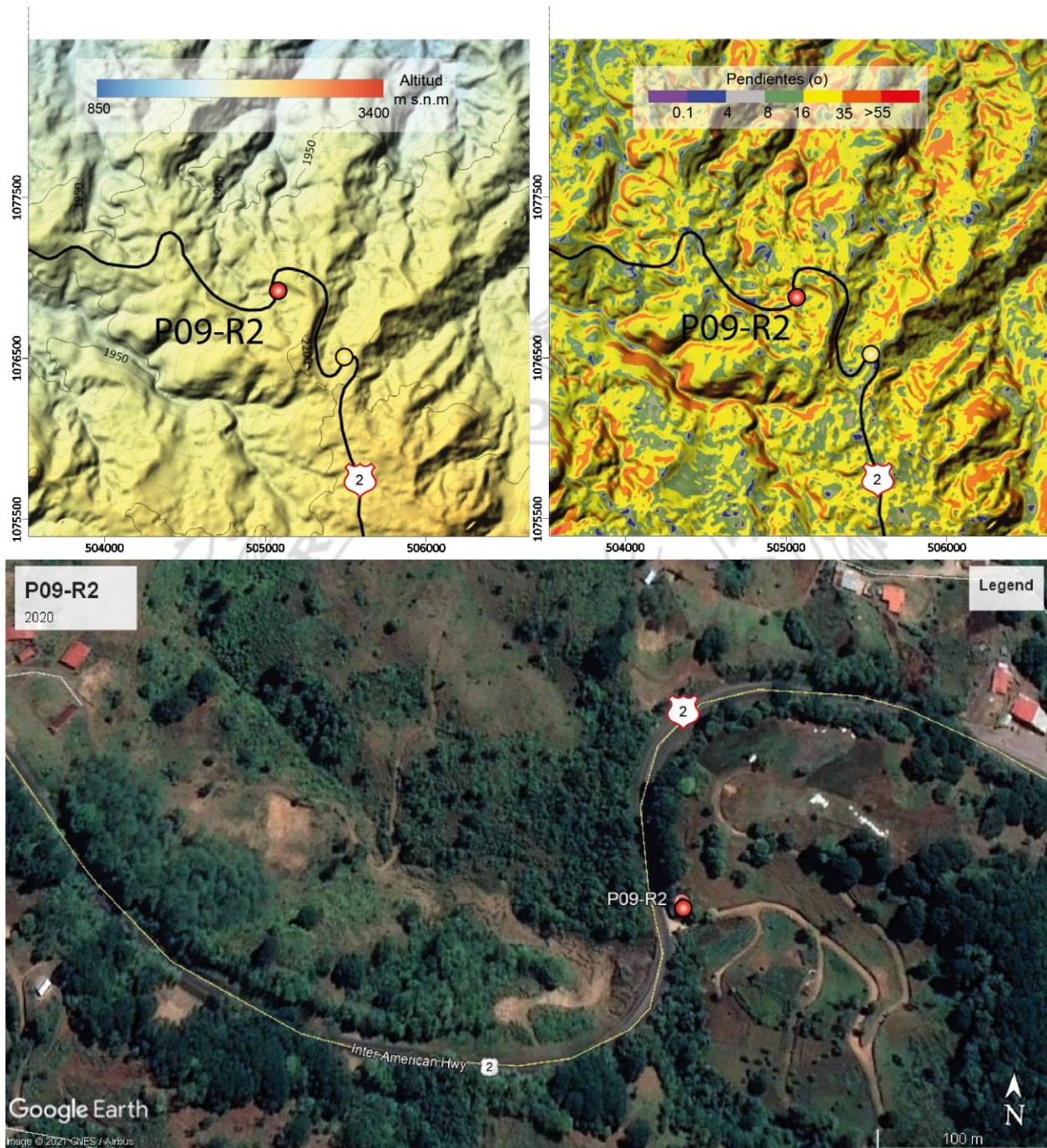


Figura No. 19. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P9-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por este deslizamiento.

Por la morfología que presenta este deslizamiento, así como la falta de cunetas, es evidente que existe un manejo inadecuado de aguas superficiales que podrían estar relacionadas con la inestabilidad de este sitio.

En este sitio mediante el uso de un VANT se pudo generar un modelo de elevación digital y una Ortofotografía del sitio específico. Con estos datos, se pudo determinar el ancho de la vía en las zonas donde ha colapsado parte de la calzada, así como las pendientes de la corona principal del deslizamiento y un perfil desde la carretera hasta el pie del deslizamiento (Figura No. 20).



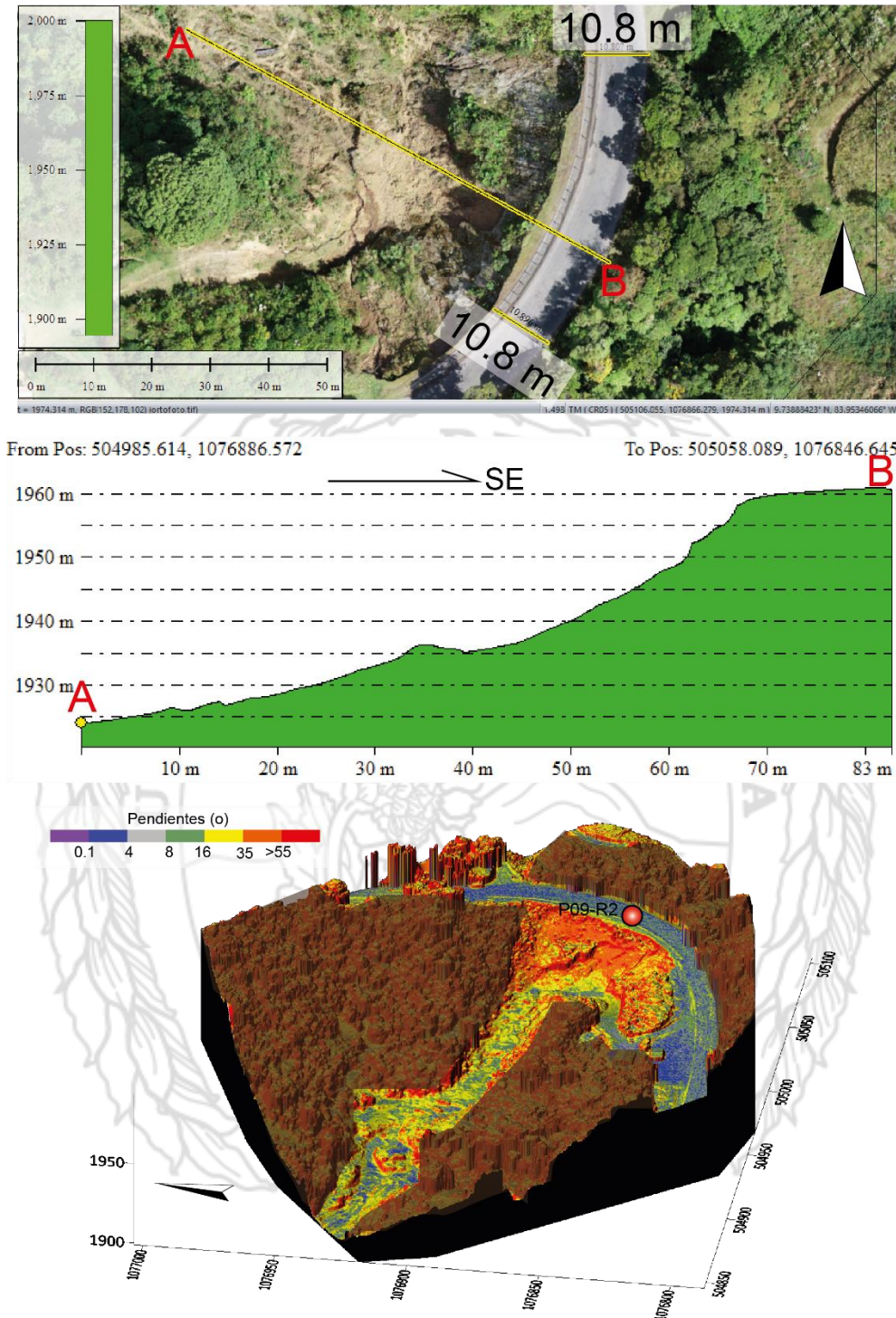


Figura No. 20 Información generada sobre el punto P09-R2, se presenta una ortofografía con dimensiones de la calzada en relación al deslizamiento un perfil topográfico y un modelo de elevación digital con las pendientes de la zona afectada por el deslizamiento.

La calzada tiene un ancho mínimo de 10.8 m y la zona afectada por el deslizamiento tiene un largo de 100 m. La diferencia de altura entre la calzada y el punto más bajo del deslizamiento es de 30 m y presenta pendientes fuertes (35-55°) y muy fuertes > 55° en la corona del deslizamiento junto a la carretera. Actualmente no existe un manejo adecuado de aguas superficiales en este punto, lo que podría generar mayores problemas durante la estación lluviosa.

Debido a que este deslizamiento se encuentra en una curva, la señalización de prevención es muy importante y debe ser presentada a los usuarios de la ruta de forma anticipada. En las siguientes fotografías se muestra la zona de afectación vista desde diferentes lugares.



Fotografías 17 y 18. Se muestra el deslizamiento ubicado en el sitio P09-R2 y su relación con la calzada.

La valoración del riesgo detectado en este punto es de **Riesgo Potencial Alto** con pérdida de conectividad, dado que se trata de una ruta de la Red de Alta Capacidad y de tratarse de un deslizamiento activo que no ha sido intervenido adecuadamente.

4.6.20 Punto P10-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 50+153

Este sitio se encuentra a 2158 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado izquierdo de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 50+153. Corresponde con un talud de relleno en una microcuenca. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°) en la imagen más reciente de

Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 21).

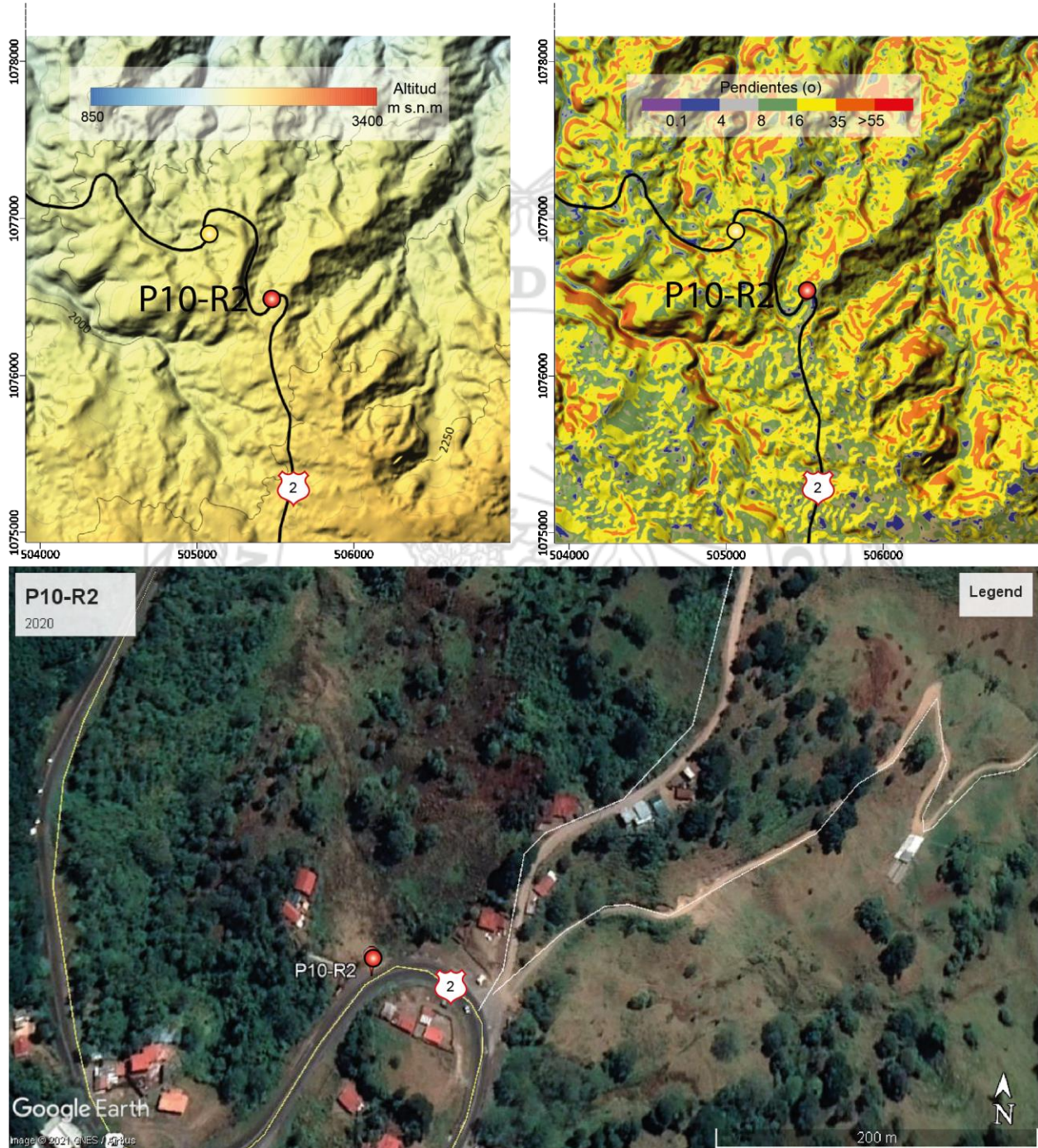


Figura No. 21. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P10-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por este deslizamiento.



Fotografía 19 del sitio afectado por el deslizamiento en el talud de relleno, esta imagen fue capturada el julio del 2018.

La valoración del riesgo detectado en este punto es de **Riesgo Potencial Alto** con pérdida de conectividad, dado que se trata de una ruta de la Red de Alta Capacidad y de tratarse de un deslizamiento activo que no ha sido intervenido adecuadamente.

4.6.11 Punto P11-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 66+175

Este sitio se encuentra a 2559 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 66 + 175. Corresponde con un talud de relleno. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 22).

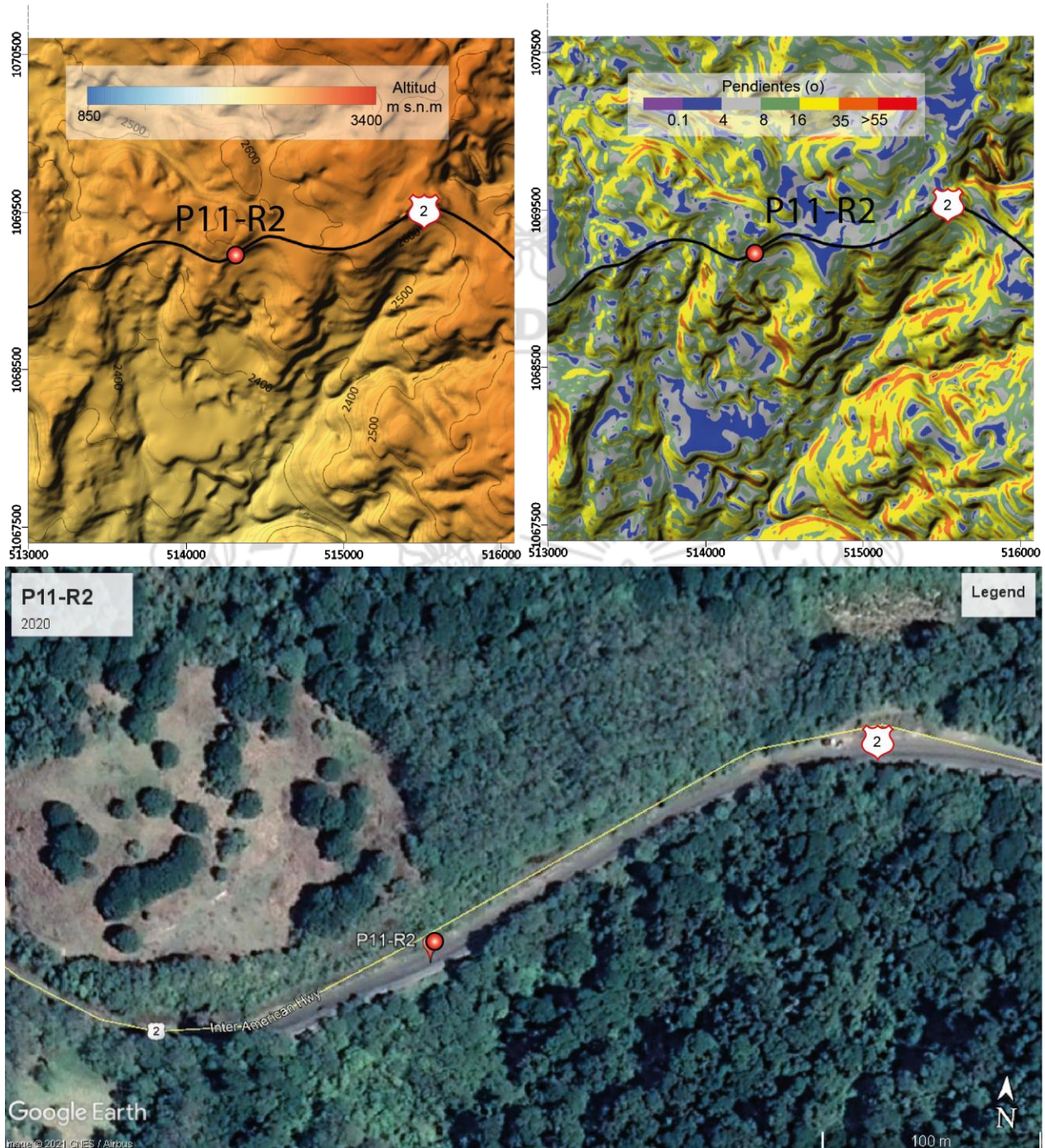


Figura No. 22. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P11-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido reparada con la construcción de un muro de gaviones.



Fotografías 20 y 21 del punto P11-R2 donde se puede observar como se ha perdido ancho de la vía y que no existen medidas de contención para dar estabilidad al talud de relleno.

En este sitio se ha identificado un **Riesgo potencial medio** debido que existen factores que podrían propiciar que se genere nuevamente un deslizamiento y debido a las dimensiones y a la reducción del ancho disponible este evento podría afectar el tránsito en este lugar.

4.6.12 Punto P12-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 80+791

Este sitio se encuentra a 2971 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 80+791. Corresponde con un talud de relleno. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°), en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 23).

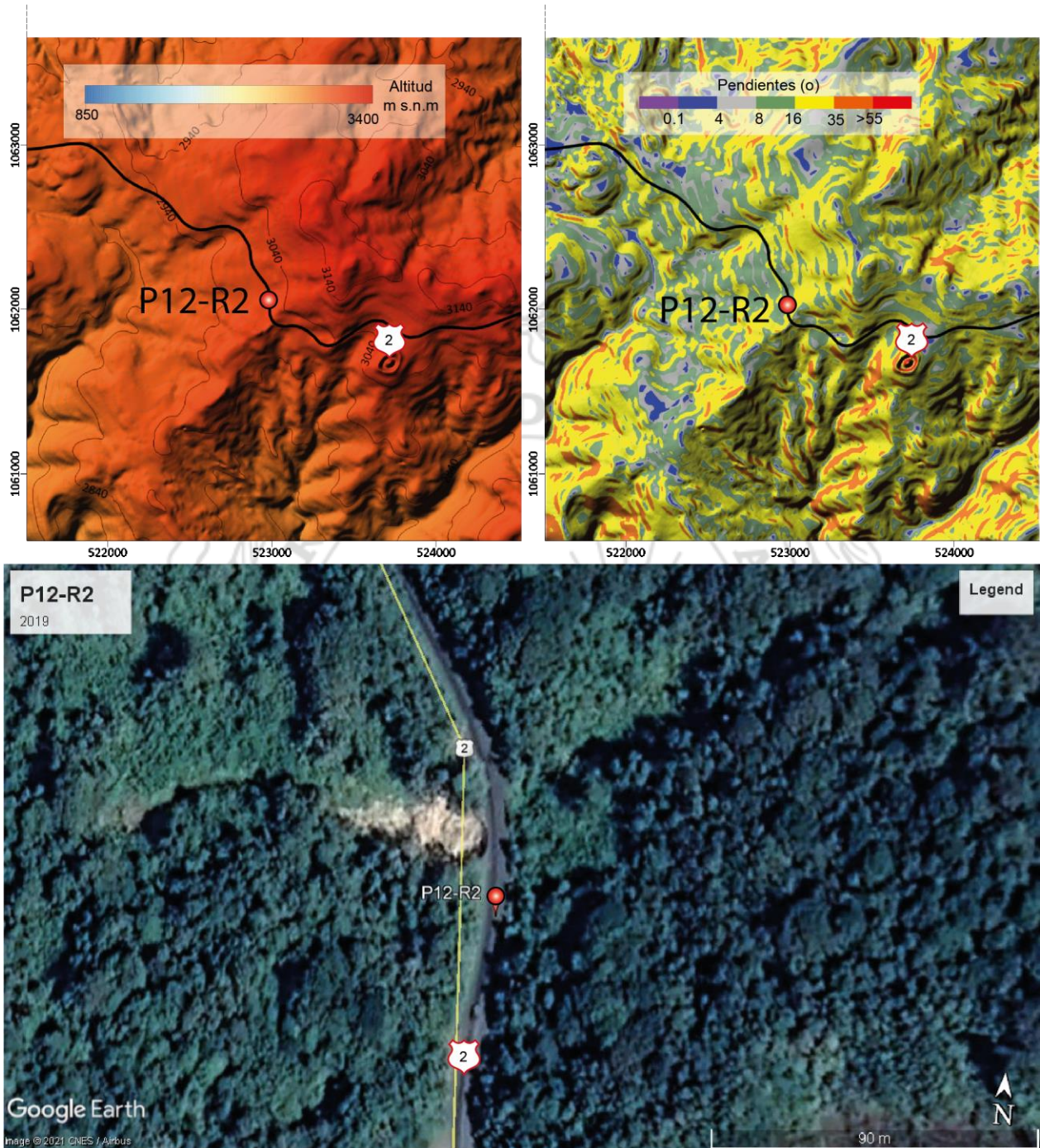


Figura No. 23. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P12-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por el deslizamiento.

Este sitio ha sido intervenido entre el año 2020 y 2021, durante la evaluación se observó el muro de gaviones con el que se estabilizó el sitio y un manto para la protección contra la erosión como se muestra en la siguiente fotografía.



Fotografía 22 Muro de gaviones y manto para la protección contra erosión colocados en el sitio P12-R2.

Riesgo potencial bajo, actualmente no hay condiciones que indiquen un riesgo inminente para este sitio, de ocurrir algún evento inesperado no se colapsaría completamente la ruta, por lo tanto, las posibilidades de recuperar la conectividad con intervenciones pequeñas son posibles.

4.6.13 Punto P13-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 101+046

Este sitio se encuentra a 2812 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 101+046. Corresponde con un talud de corte que es parte de una microcuenca por donde bajan los drenajes de un cerro. Las

laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°), en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 24).

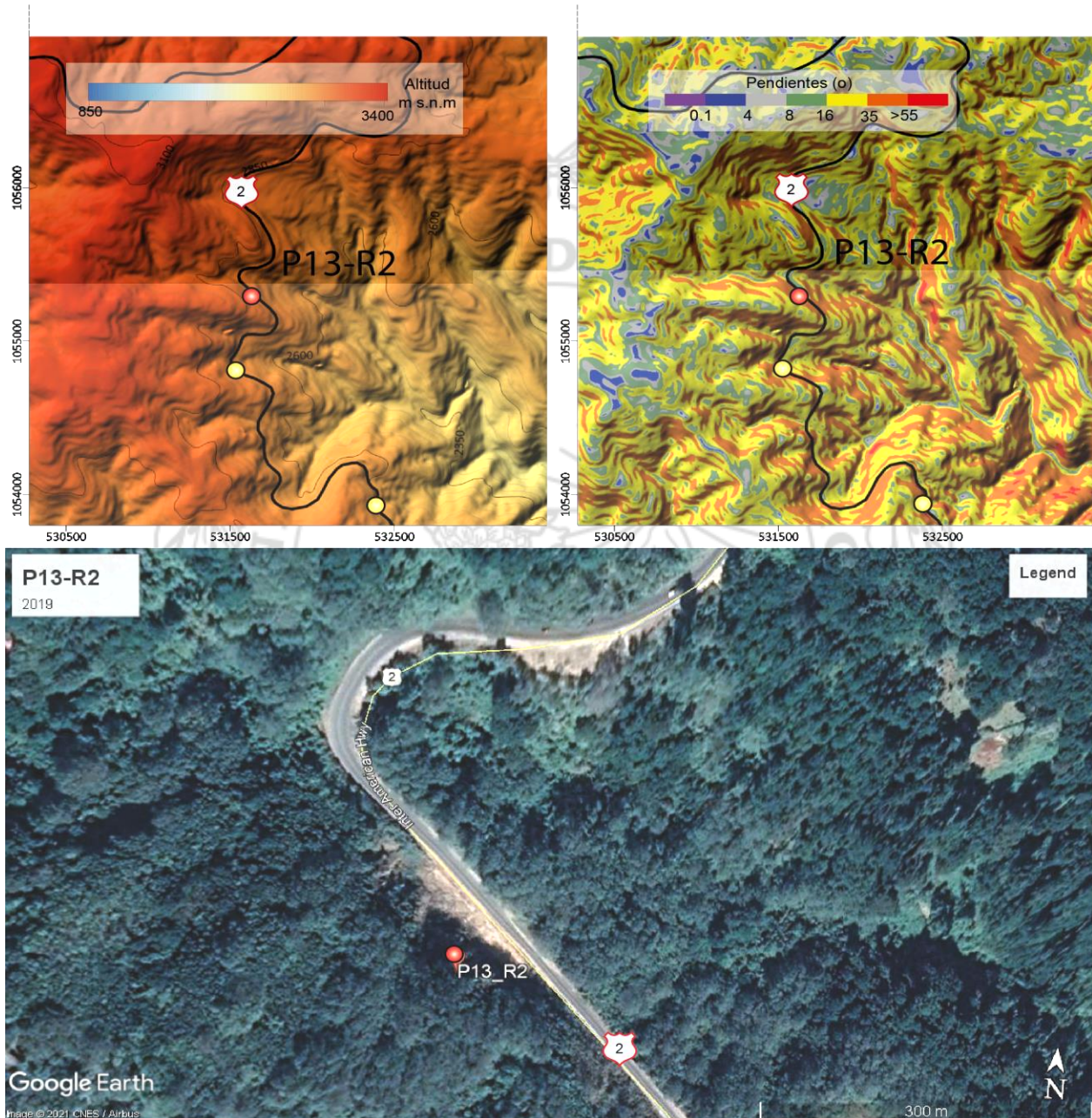


Figura No. 24. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P13-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por el deslizamiento.

Este talud presenta una altura superior a los 20 m, la zona afectada es de unos 50 m y no ha sido intervenido. Los materiales que afloran son rocas sanas y meteorizadas relacionadas con cuerpos intrusivos. No hay manejo de aguas superficiales y los procesos de erosión son intensos como se observa en la siguiente fotografía.



Fotografía 23. Sitio P13-R2 donde se observa como hay humedad en el talud y bloques de roca en la parte superior que se pueden desprender y caer en la calzada.

La valoración del riesgo detectado en este punto es de **Riesgo Potencial Alto** con pérdida de conectividad, dado que se trata de una ruta de la Red de Alta Capacidad y de tratarse de un deslizamiento activo que no ha sido intervenido adecuadamente.

4.6.14 Punto P14-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 101+747

Este sitio se encuentra a 2775 m s.n.m. La zona afectada se ubica tanto del lado izquierdo como del lado derecho de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 101+747. Corresponde con un talud de corte al lado derecho y de relleno al lado izquierdo, que es parte de una microcuenca por donde bajan los drenajes de un cerro. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°), en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 25).



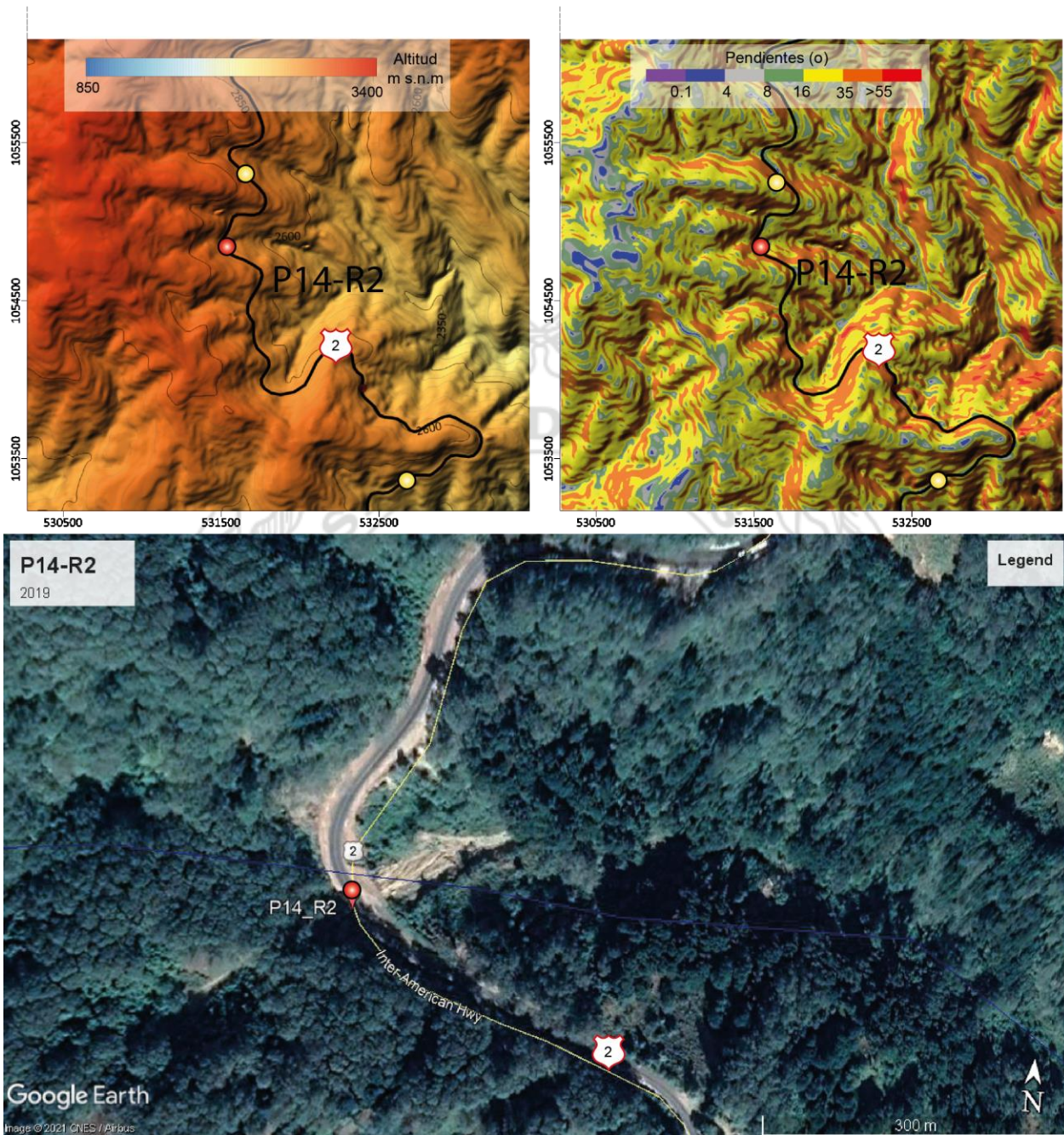


Figura No. 25. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P14-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por el deslizamiento.



Fotografía 24 del sitio P14-R2 donde se puede observar la zona afectada por el deslizamiento

La valoración del riesgo detectado en este punto es de **Riesgo Potencial Alto** con pérdida de conectividad, dado que se trata de una ruta de la Red de Alta Capacidad y de tratarse de un deslizamiento activo que no ha sido intervenido adecuadamente.

4.6.15 Punto P15-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 103+778

Este sitio se encuentra a 2624 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado izquierdo de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 103+778. Corresponde con un talud de corte y relleno que es parte de una microcuenca por donde bajan los drenajes de un cerro. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°), en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No. 26).

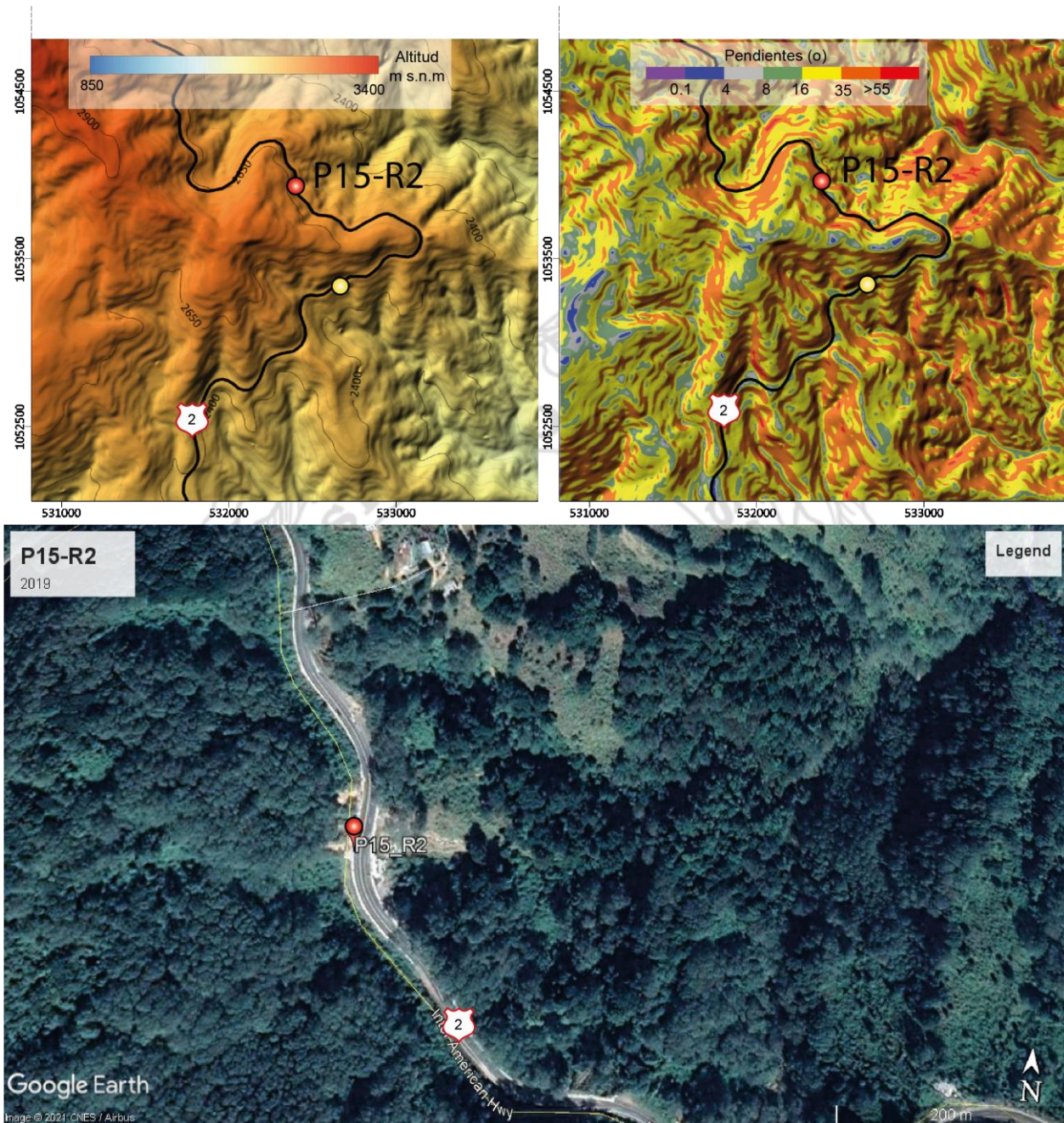


Figura No. 26. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P15-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por el deslizamiento.



Fotografía 25 del sitio evaluado en el punto P15-R2 donde se puede observar las condiciones desfavorables del talud, la caída de bloques de roca y los procesos intensos de erosión.

La valoración del riesgo detectado en este punto es de **Riesgo Potencial Alto** con pérdida de conectividad, dado que se trata de una ruta de la Red de Alta Capacidad y de tratarse de un deslizamiento activo que no ha sido intervenido adecuadamente.

4.6.16 Punto P16-R2– Ruta Nacional No.2, Estacionamiento 105+354

Este sitio se encuentra a 2527 m s.n.m. La zona afectada se ubica al lado izquierdo de la RN-2 en el sentido Cartago – San Isidro del General en el estacionamiento 105+354. Corresponde con un talud de corte y relleno que es parte de una microcuenca por donde bajan los drenajes de un cerro. Las laderas donde se ubica este punto evaluado presentan pendientes moderadas (16-35°) y fuertes (35-55°), en la imagen más reciente de Google Earth del 2020, se puede observar como este sitio estaba afectado por el deslizamiento (Figura No.27).



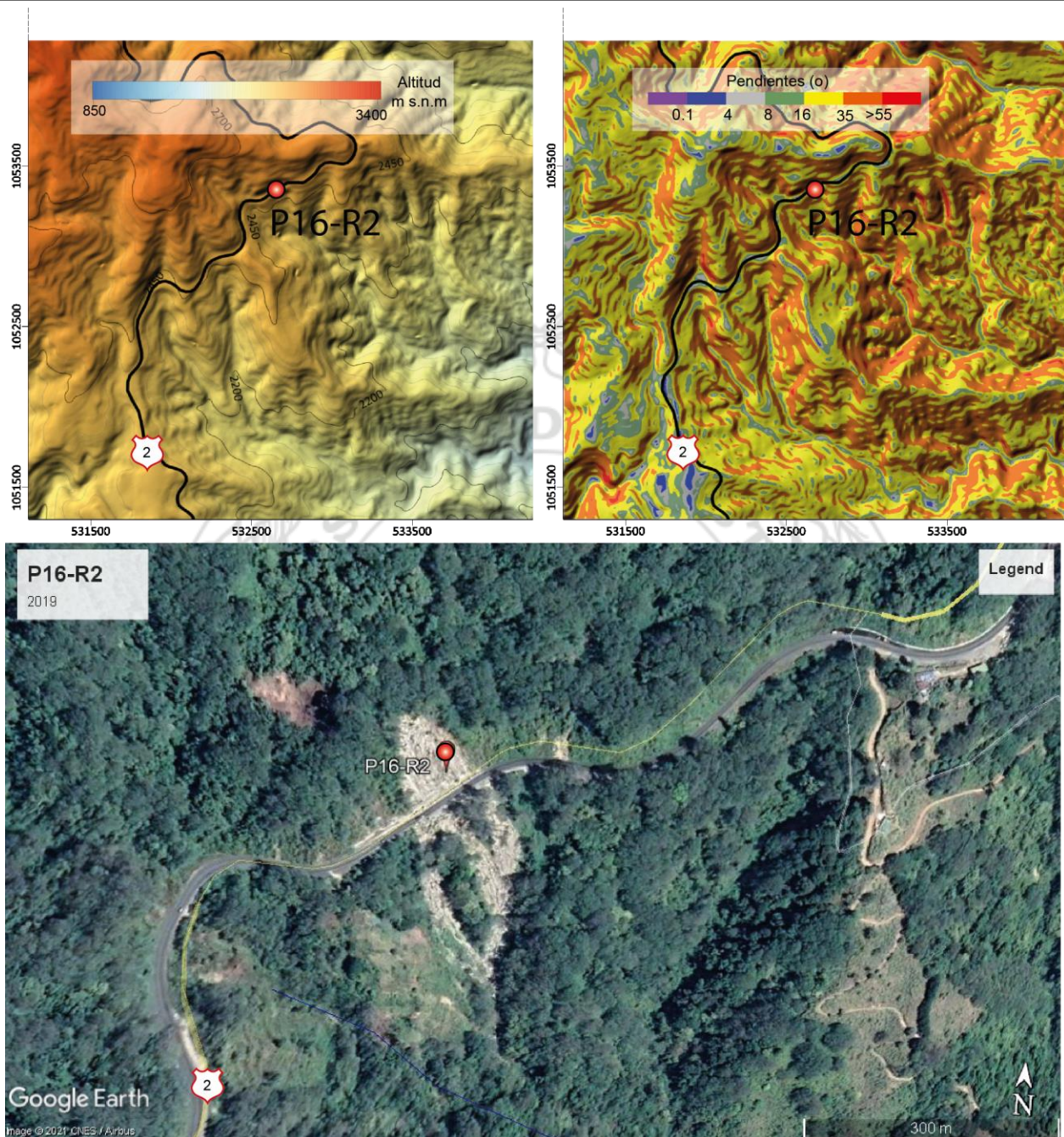


Figura No. 27. Modelo de elevación digital con información topográfica y de las pendientes asociadas el P16-R2, así como una imagen satelital de Google Earth del año 2020, donde se puede observar la zona que ha sido afectada por el deslizamiento.

Este sitio aún no ha sido intervenido, las condiciones siguen siendo muy desfavorables y debido a la topografía es posible que aun falte material por caer. Esto podría afectar tanto el talud de

corte del lado derecho como el de relleno del lado izquierdo. Con un VANT se pudieron tomar las siguientes fotografías aéreas oblicuas.



Fotografías 26 y 27. Sitio P16-R2 donde se observa parte del talud de corte y relleno que han sido afectados por este deslizamiento.

La valoración del riesgo detectado en este punto es de **Riesgo Potencial Alto** con pérdida de conectividad, dado que se trata de una ruta de la Red de Alta Capacidad y de tratarse de un deslizamiento activo que no ha sido intervenido adecuadamente.

5. CONCLUSIONES GENERALES

Con el fin de resumir las principales observaciones y conclusiones se ha generado un mapa por medio del cual se indica la clasificación de riesgo potencial para cada sitio evaluado (Figura No.28). En esta figura se puede observar como los puntos que se agrupan en su gran mayoría entre el sector norte de la ruta entre San Isidro del Guarco y El Empalme tienen riesgo potencial bajo, esto en razón de que han sido intervenidos de alguna forma. Sin embargo, estos puntos deberían seguir un proceso de mantenimiento constante y especialmente durante la estación lluviosa o después de un sismo en la zona. Cabe resaltar, que de colapsar alguno de esos puntos, existe una ruta alterna por la zona de los Santos hasta llegar al Empalme por lo que el tránsito podría seguir fluyendo de alguna forma por ese otro sector. .

Por el contrario, todos los puntos evaluados que se ubican después del Cerro de La Muerte hacia Pérez Zeledón presentan un riesgo potencial alto, debido a las características físicas de

susceptibilidad a la remoción de masas como: Alta pendiente, condición de los materiales y gran cantidad de humedad y precipitación en la zona. Además, los deslizamientos ahí presentes no han sido atendidos adecuadamente. Por último, no hay ninguna ruta alterna para reemplazar ese tramo de a RN-2.

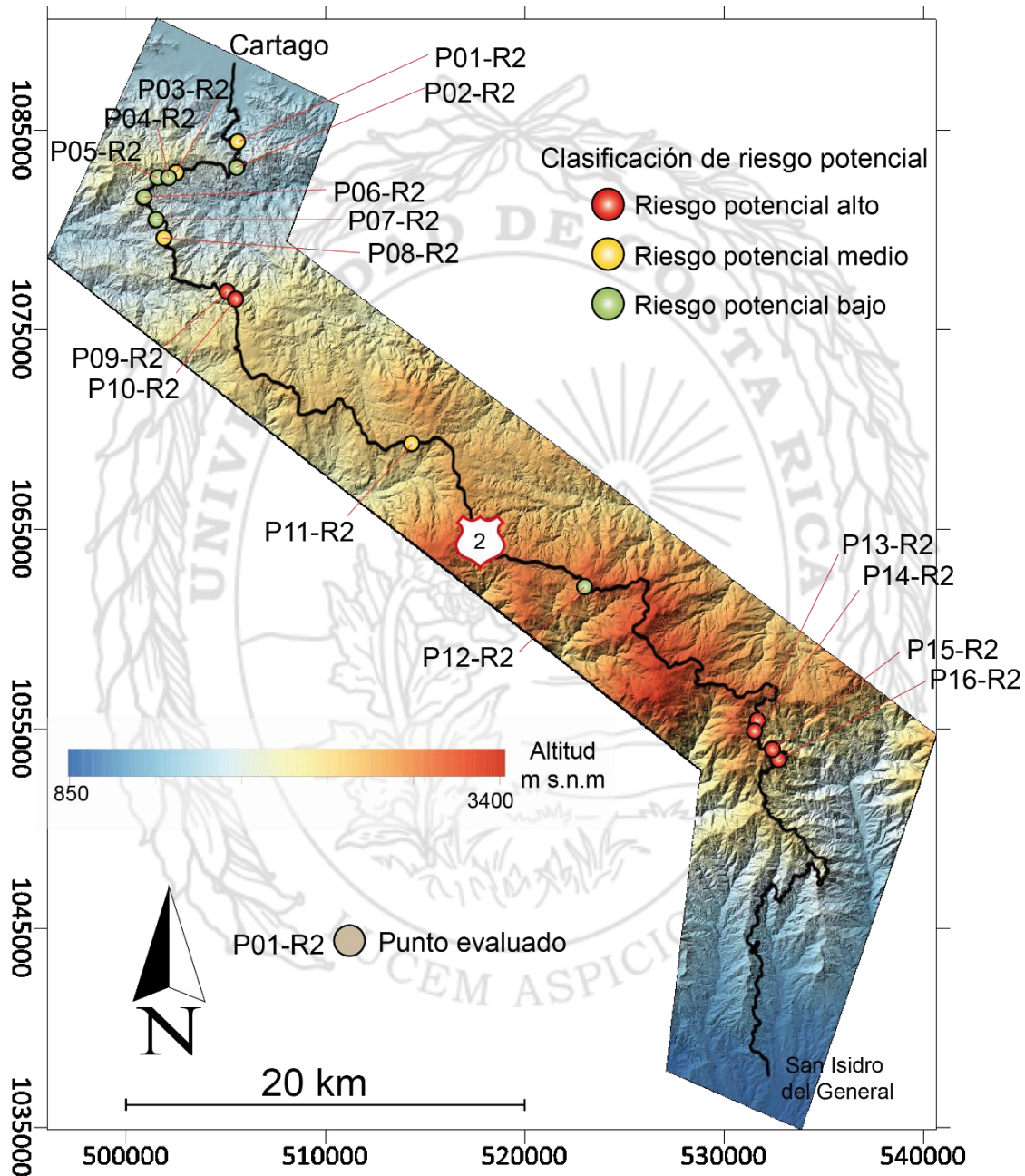


Figura No. 28. Mapa con la ubicación de los puntos evaluados y su clasificación de riesgo potencial.

En el siguiente cuadro se resume el estado de riesgo potencial que presenta cada uno de los puntos evaluados en este informe.

Cuadro 2. *Coordenadas de la ubicación según la proyección CRTM-05, estacionamiento y altitud de sitios evaluados.*

| Código | Estacionamiento | Riesgo potencia determinado |
|--------|-----------------|-----------------------------|
| P01-R2 | 31+557 | Riesgo potencial medio |
| P02-R2 | 33+764 | Riesgo potencial bajo |
| P03-R2 | 37+806 | Riesgo potencial medio |
| P04-R2 | 38+368 | Riesgo potencial bajo |
| P05-R2 | 38+847 | Riesgo potencial bajo |
| P06-R2 | 40+205 | Riesgo potencial bajo |
| P07-R2 | 41+615 | Riesgo potencial bajo |
| P08-R2 | 42+975 | Riesgo potencial medio |
| P09-R2 | 48+899 | Riesgo Potencial Alto |
| P10-R2 | 50+153 | Riesgo Potencial Alto |
| P11-R2 | 66+175 | Riesgo potencial medio |
| P12-R2 | 80+791 | Riesgo potencial bajo |
| P13-R2 | 101+046 | Riesgo Potencial Alto |
| P14-R2 | 101+747 | Riesgo Potencial Alto |
| P15-R2 | 103+778 | Riesgo Potencial Alto |
| P16-R2 | 105+354 | Riesgo Potencial Alto |

Los sitios P09, P10, P13, P14, P15 y P16, presentan una condición de **Riesgo Potencial Alto**, debido a que si ocurre un evento importante, éste podría significar una pérdida total de conectividad, convirtiendo a la ruta en un eje sumamente vulnerable y de alta prioridad de intervención. En cuanto a la redundancia que presenta la red de conectividad con la zona Sur y el Valle del General, se debe considerar que este corredor junto con la RN-34 son de los principales ejes de comunicación y transporte de bienes y servicios. La RN-34 Costanera Sur debe ser evaluada para determinar posibles puntos de riesgo por deslizamientos o crecidas de ríos, que de colapsar podrían afectar directamente la conectividad de este corredor lo cual

incrementa la necesidad de mantener y intervenir de forma preventiva este corredor como elemento de soporte y redundancia.

Ante una eventual pérdida de conectividad en este sector de la Ruta Nacional No. 2, el efecto en la economía y en la movilidad de los usuarios, sería de alto impacto negativo por lo que se considera de alta prioridad su atención.

La condición de los sitios con riesgo potencial alto y medio ameritan de intervenciones mayores para una solución permanente; sin embargo, dentro de las posibilidades de gestionar el riesgo evaluado, se detecta la posibilidad de realizar labores de mitigación inmediatas, bajo costo relativo y de alto impacto para la seguridad del usuario y disminución de la vulnerabilidad en los sitios.

5.1 Conclusiones específicas

- Geomorfológicamente, la sección de la Ruta Nacional No.2 donde se ubican los sitios evaluados en este informe presenta pendientes desde moderadas a fuertes y muy fuertes, que son relacionadas con procesos denudacionales intensos (deslizamientos) y erosión de suelos. Por lo tanto, este sitio tiene una alta susceptibilidad de pendiente a generar deslizamientos.
- En los puntos P01-R2, P09, P10, P13, P14, P15 y P16 hace más de 3 años, durante la tormenta Nate, se presentaron deslizamientos que afectaron la calzada, en el sentido de circulación Cartago- San Isidro del General. Estos deslizamientos provocaron problemas de tránsito; sin embargo, no se observan obras de estabilización tendientes a contener el avance de los deslizamientos o recuperar el ancho de la vía. Los deslizamientos estudiados en este punto ocurrieron en un sitio donde los materiales que afloran, pertenecen a suelos residuales de la meteorización de cuerpos volcánicos e intrusivos. Debido a la alta incidencia de presentar deslizamientos y a las características geotécnicas de estos materiales, se puede estimar que los taludes relacionados con estas unidades geológicas tienen una susceptibilidad litológica alta para generar nuevos deslizamientos que puedan afectar la Ruta Nacional No.2.
- Cerca del área de estudio, existen varias fallas tectónicas locales que deberían ser estudiadas para determinar si son activas o no. En la zona, se han registrado eventos sísmicos por estas fallas locales, de magnitud importante y que generaron deslizamientos

en la zona, por ejemplo: el Terremoto División – Buvis, 3 de julio 1983, Magnitud 6.2 Mw con Intensidades máximas MM de VIII, de ahí que, la posibilidad de que otros deslizamientos sean disparados por sismos es muy probable.

- Con el inicio de la estación lluviosa 2021, es de esperar que el agua se infiltre en las grietas de los taludes evaluados que dan soporte al pavimento, provocando lavado de materiales finos, saturación del suelo e inclusive se pueden generar nuevos movimientos que afecten nuevamente las zonas reparadas.
- En varios puntos evaluados la señalización no previene de forma adecuada al usuario del peligro existente en la vía.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Administración activa del Estado Costarricense, considerar las siguientes acciones para atender los sitios evaluados este informe sobre la Ruta Nacional N°2:

- Revisión de los temas tratados en este informe.
- Realizar estudios técnicos, diseño de soluciones y planes de mantenimiento preventivo, para todas las acciones que sean consideradas para la atención de los deslizamientos evaluados en este informe. Incluir planes de manejo de aguas en la solución integral del problema.
- Considerar en el diseño de las obras de estabilización las condiciones geológicas, sísmicas, tectónicas y geomorfológicas presentes en la zona de los deslizamientos.
- Gestionar la pronta instalación de señalización y sistemas de contención vehicular adecuados para las condiciones de los sitios.
- Realizar estudios para identificar otros sectores de esta Ruta Nacional que estén presentando condiciones similares de inestabilidad, afectando la seguridad de los usuarios.

7. REFERENCIAS

1. Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, 2014: Registro de aceleraciones máximas. Página <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=Estaciones>, consultada el 06/02/2014.

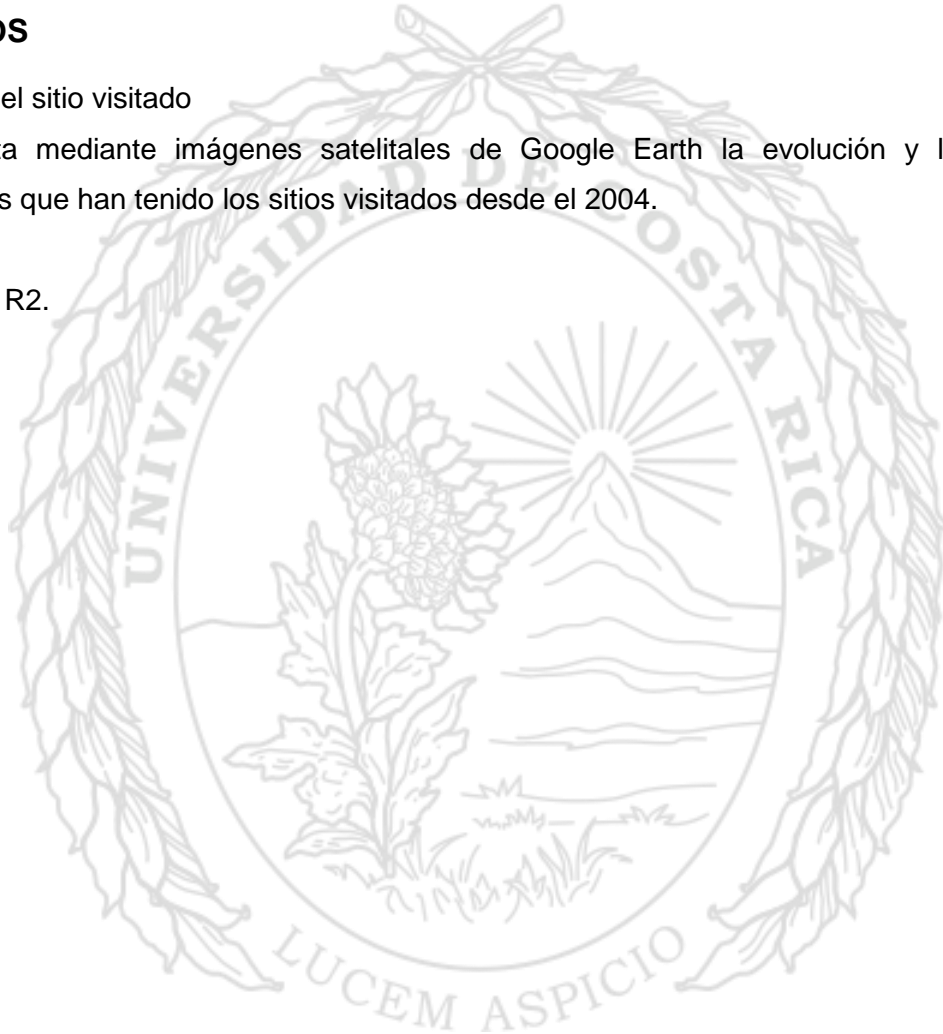
2. Denyer, P., & Arias, O. (1991). Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central; Revista Geológica de América Central: Número 12DO - 10.15517/rgac.v0i12.13039.
3. Sojo, D., Denyer, P., Gazel, E., & Alvarado, G. E. (2017). Geología del cuadrante Tapantí (1:50 000), Costa Rica. Revista Geológica de América Central, (56), 83–116. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i56.29238>

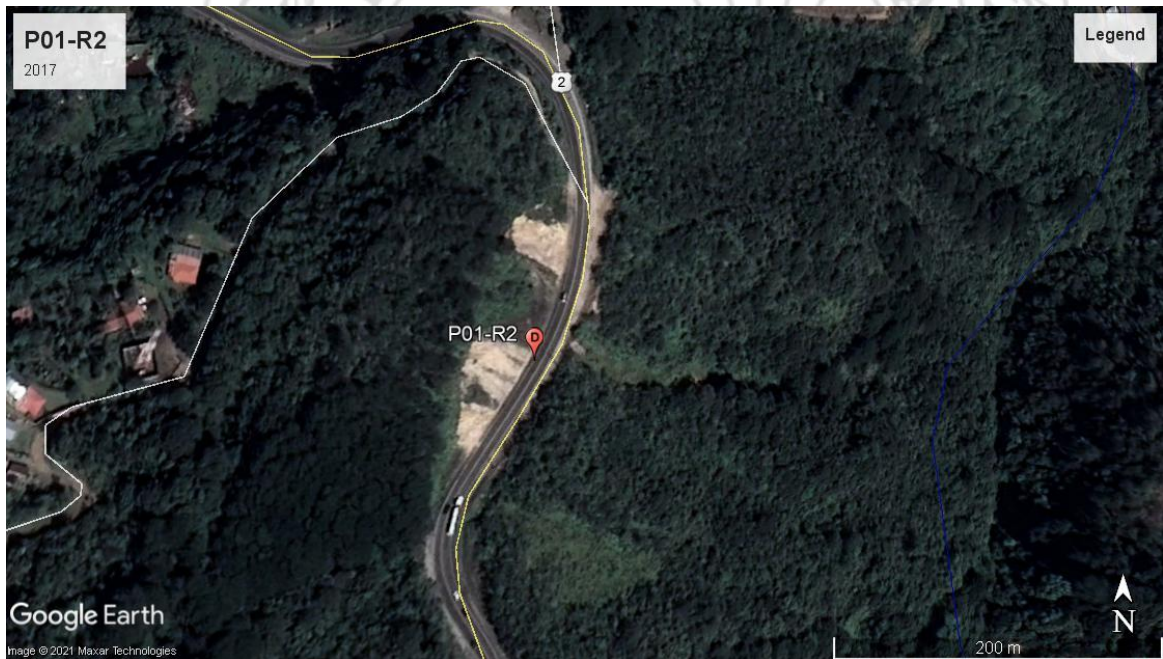
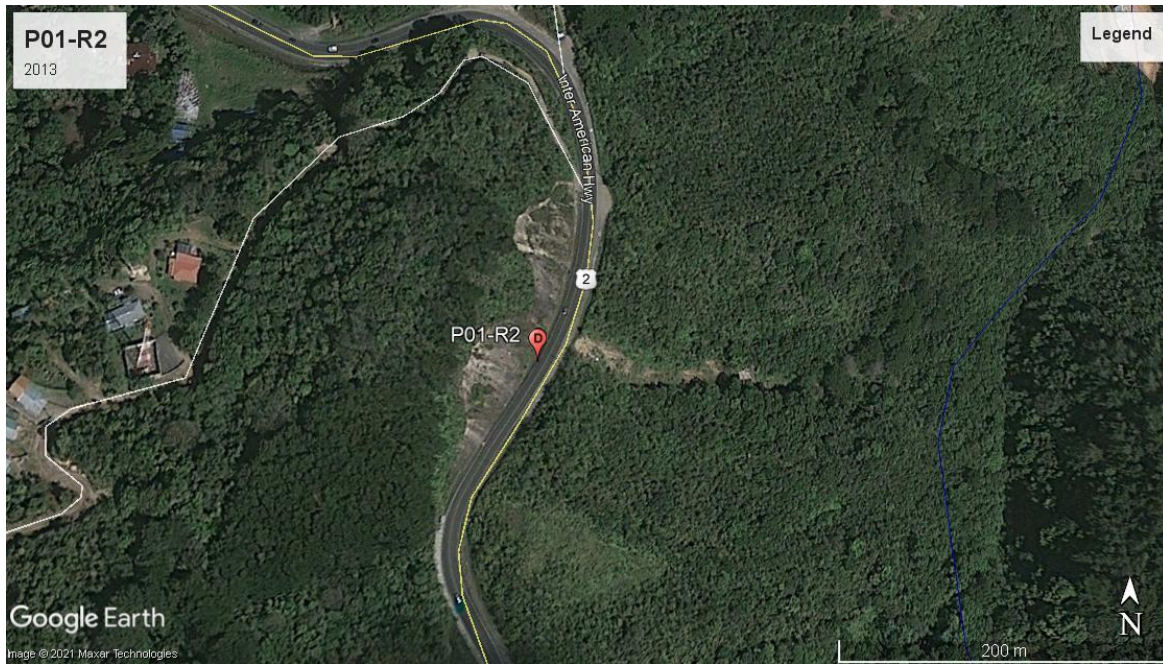
8. ANEXOS

Evolución del sitio visitado

Se presenta mediante imágenes satelitales de Google Earth la evolución y los cambios superficiales que han tenido los sitios visitados desde el 2004.

Punto P01- R2.

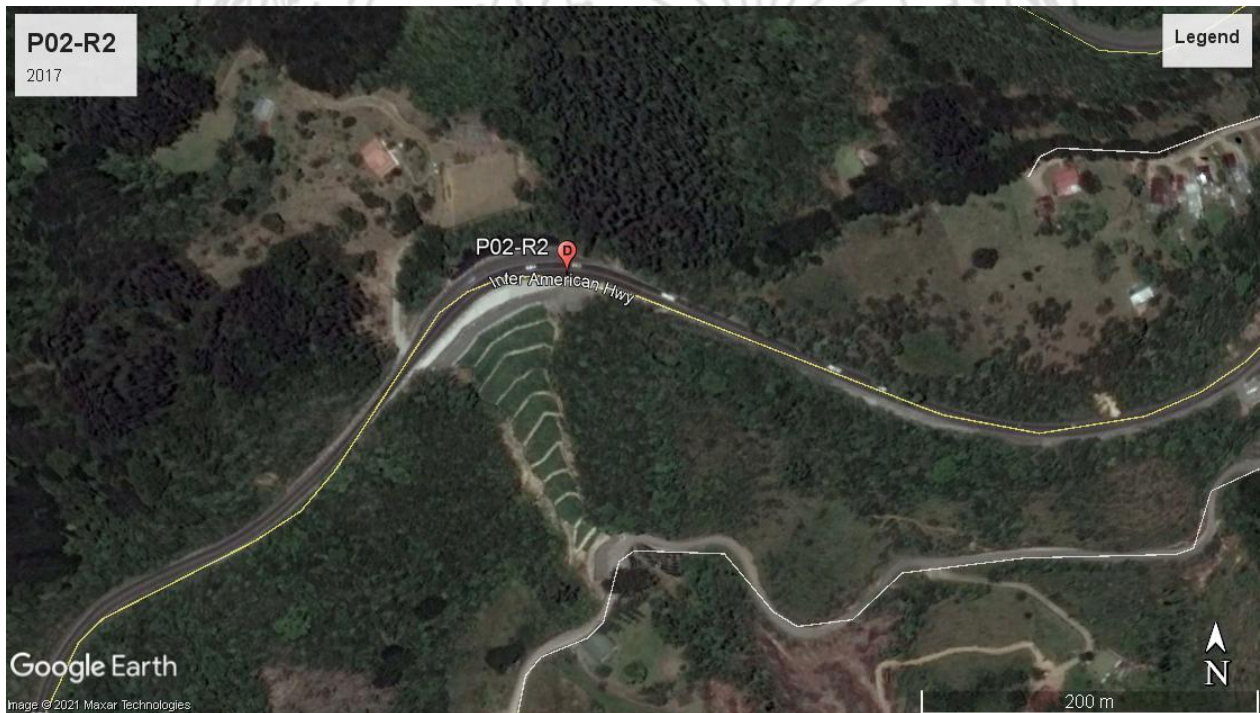


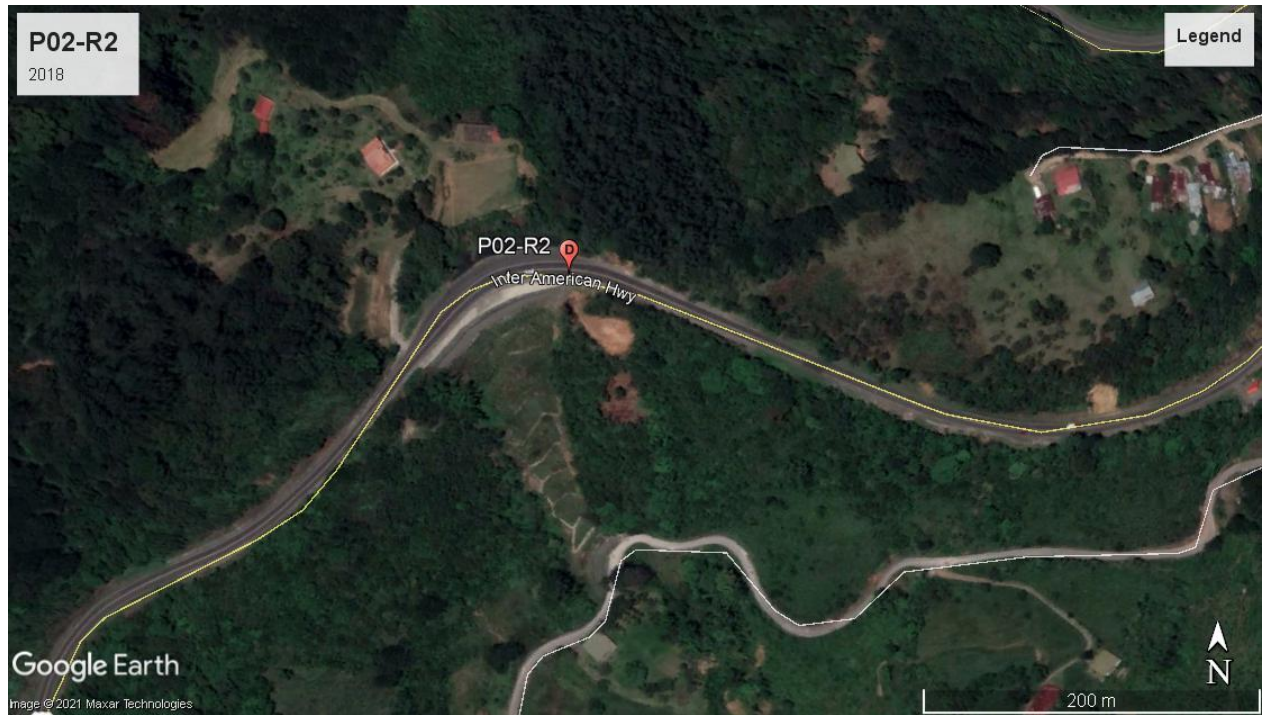




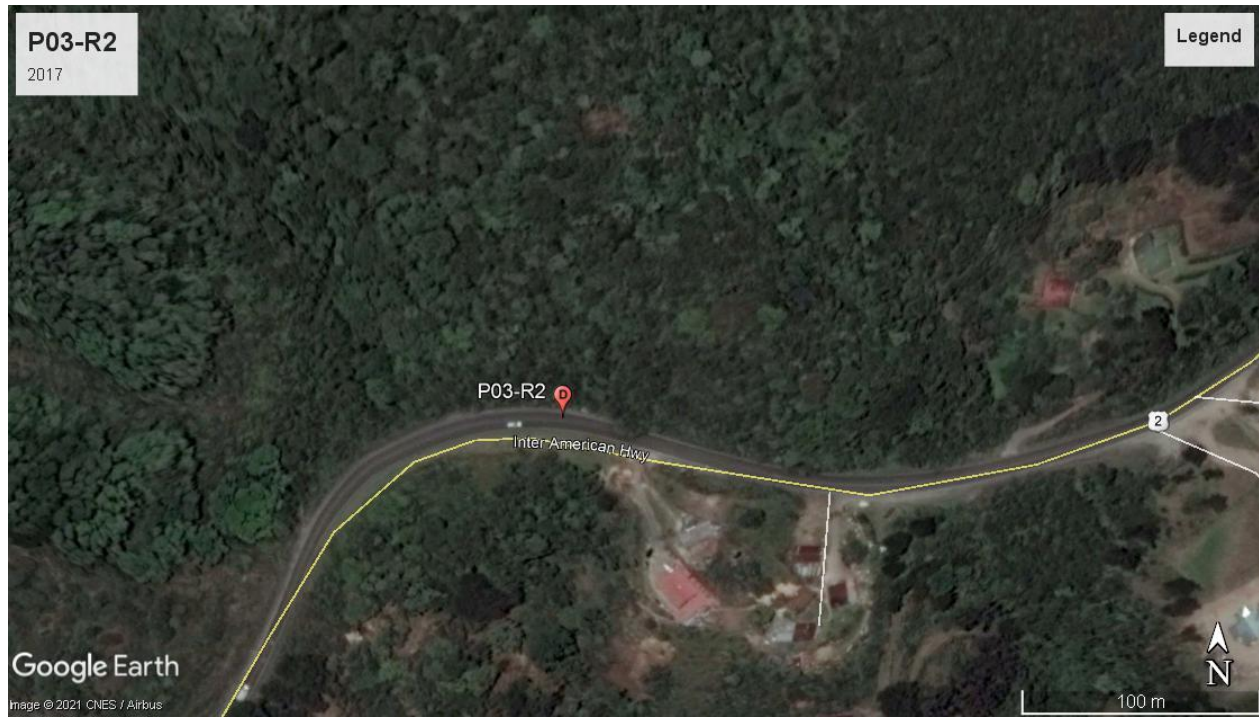
Punto P02- R2.





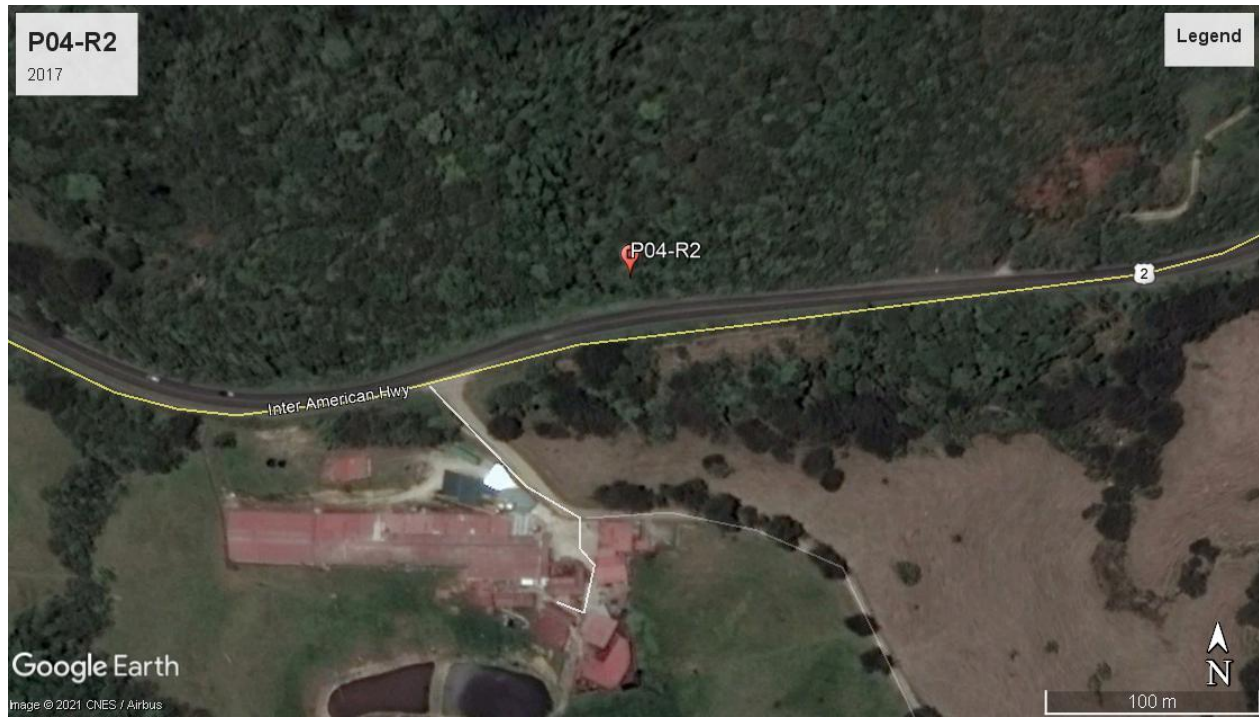


Punto P03- R2.



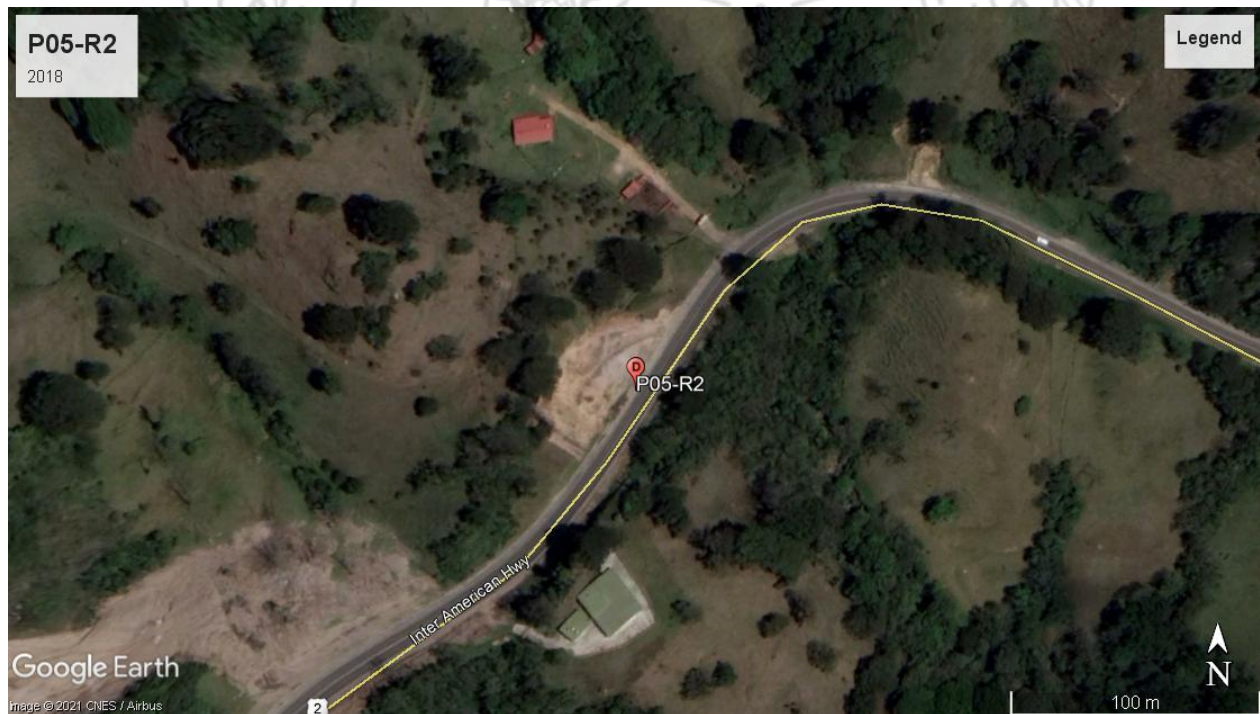
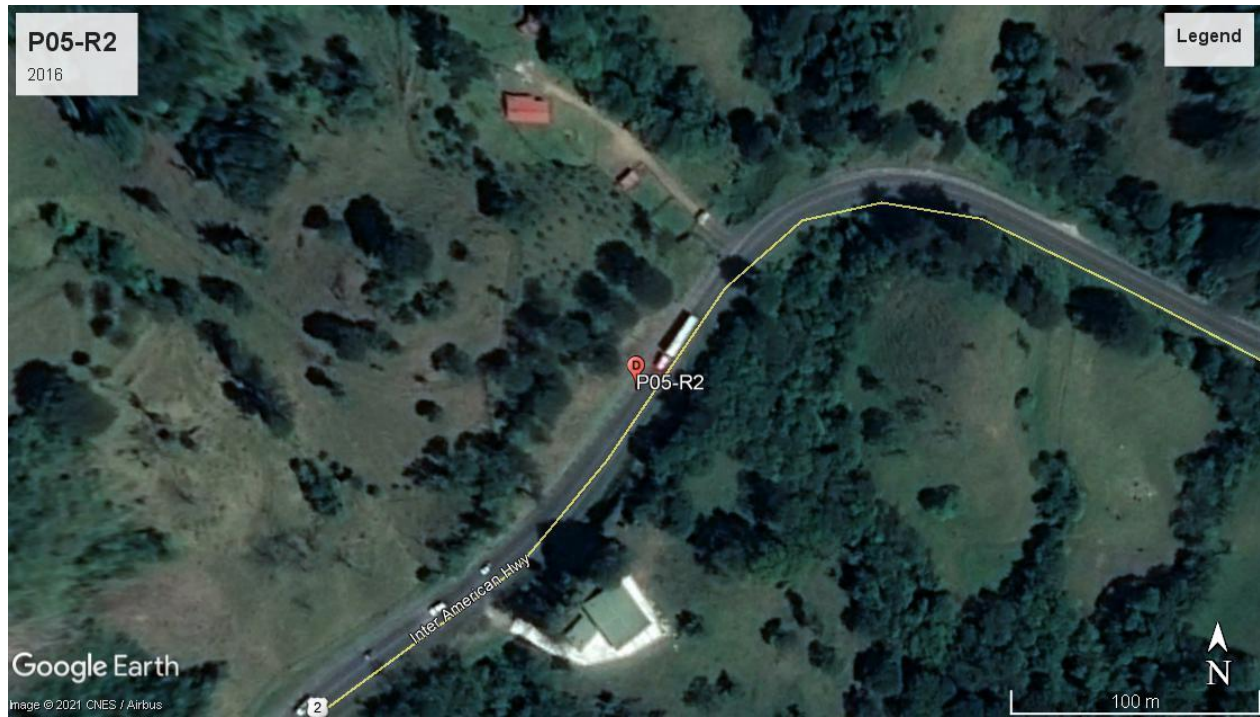


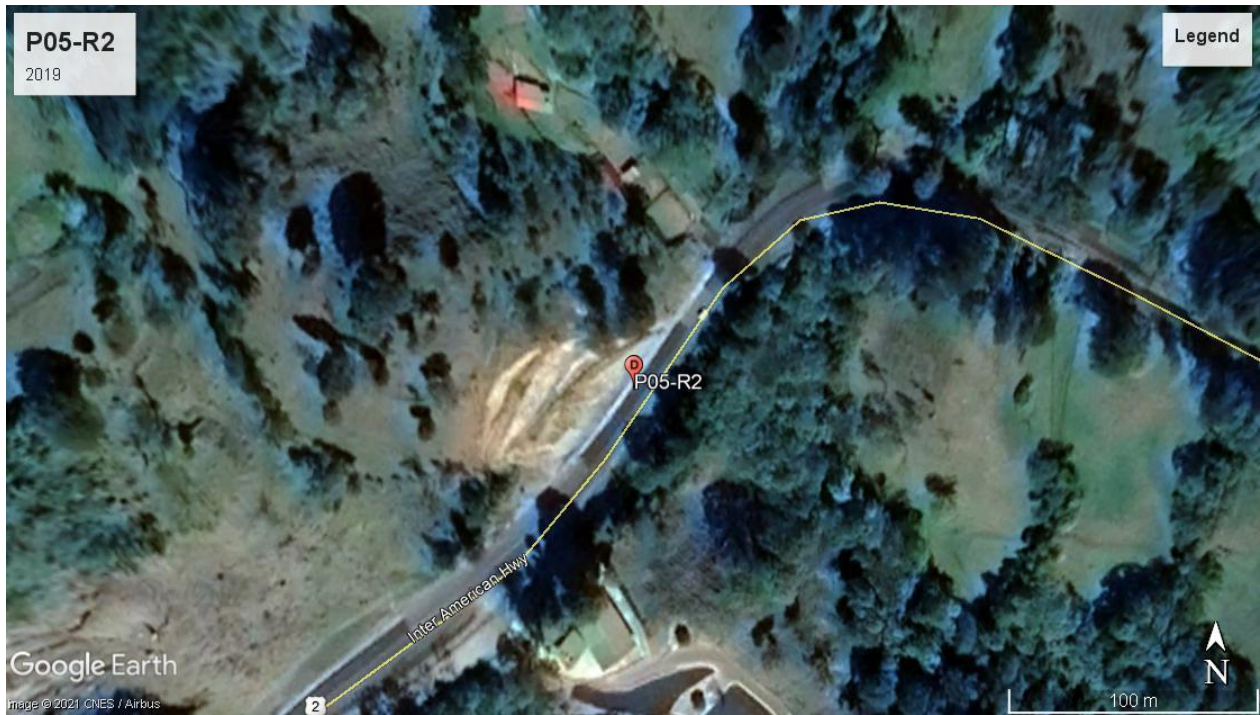
Punto P04- R2.



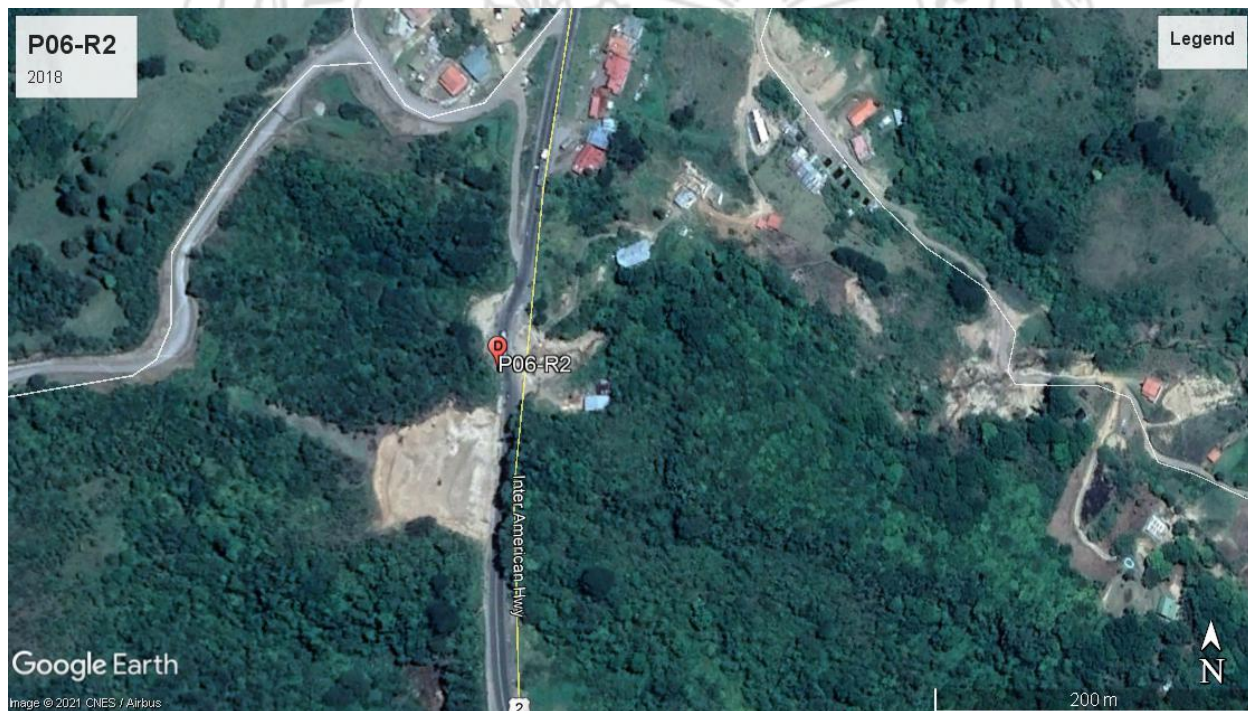
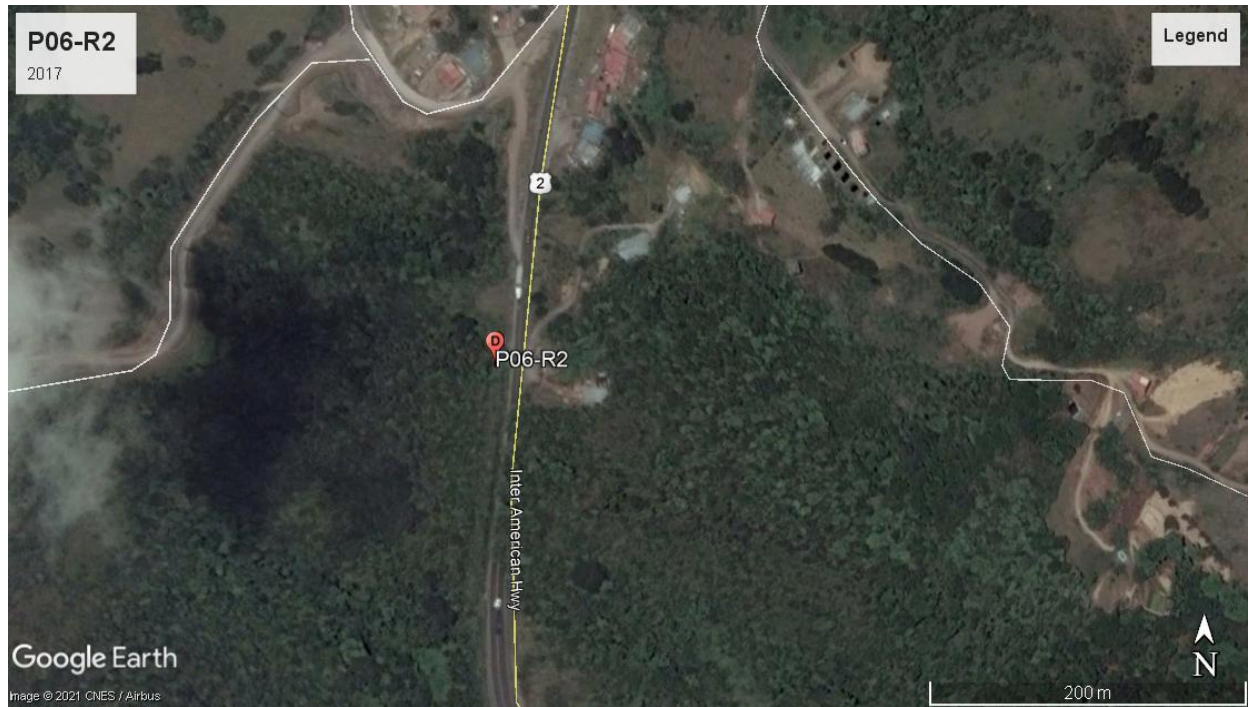


Punto P05- R2.





Punto P06- R2.





Punto P07- R2.



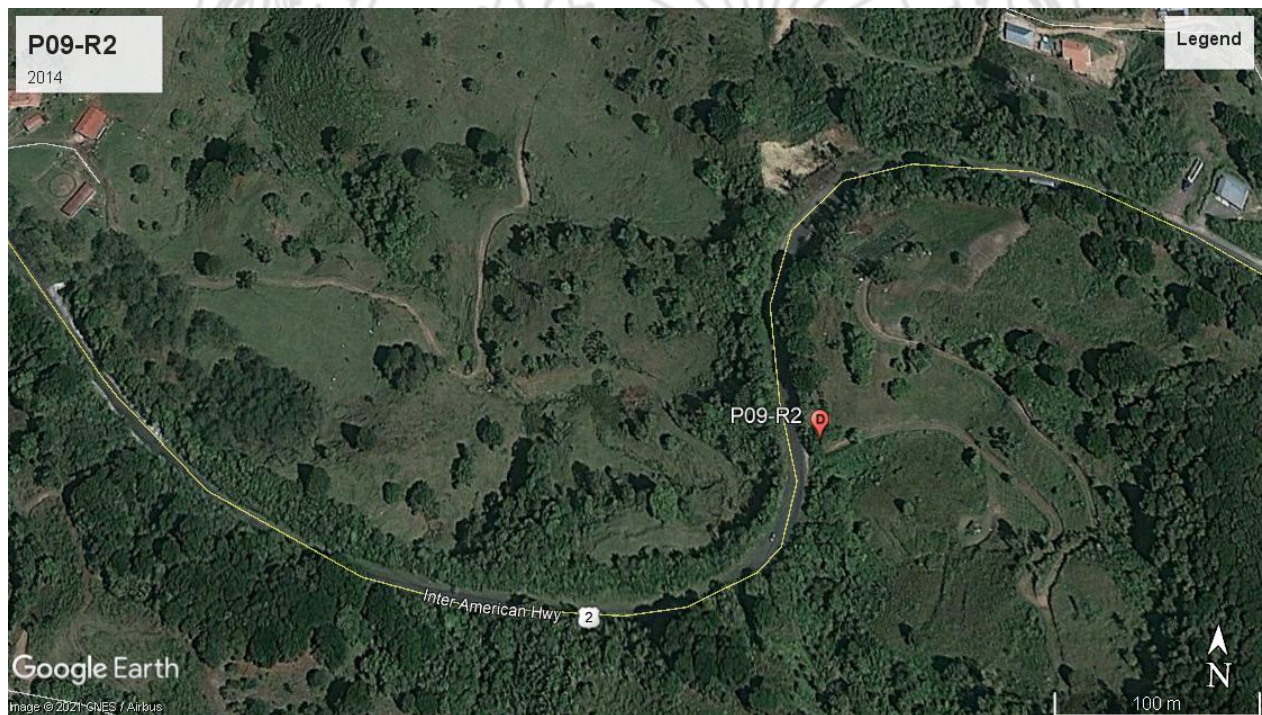
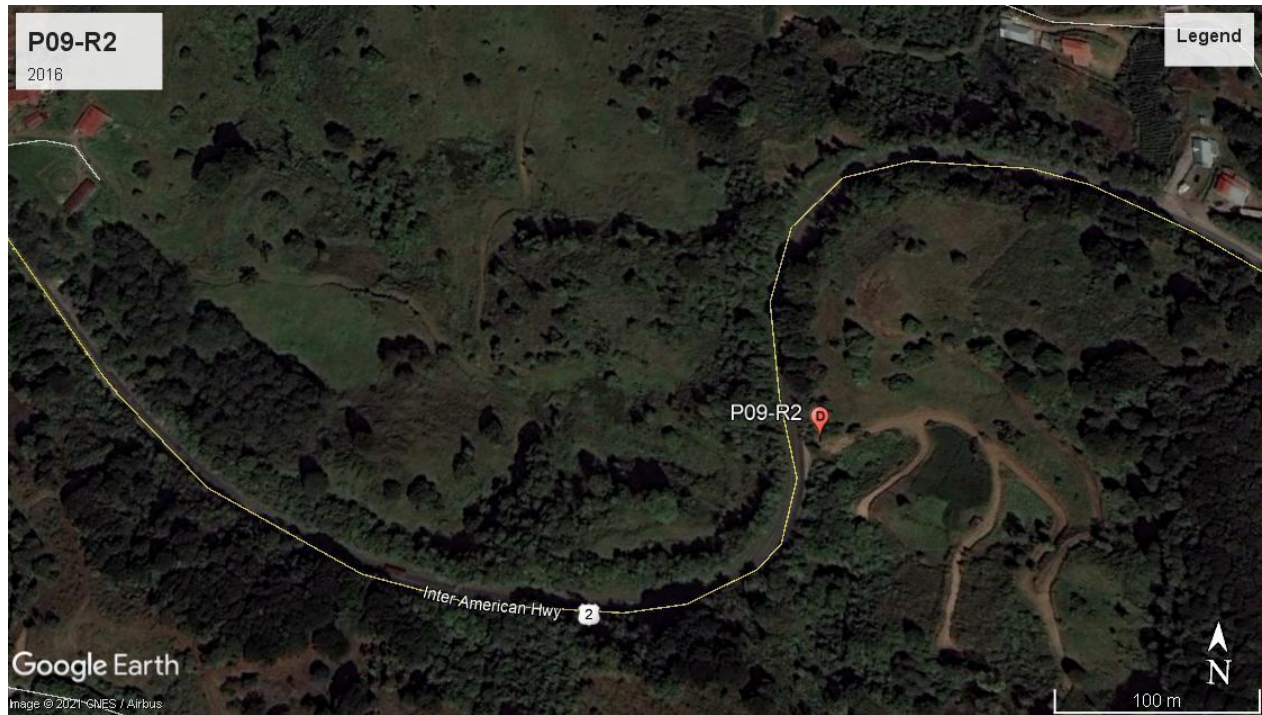


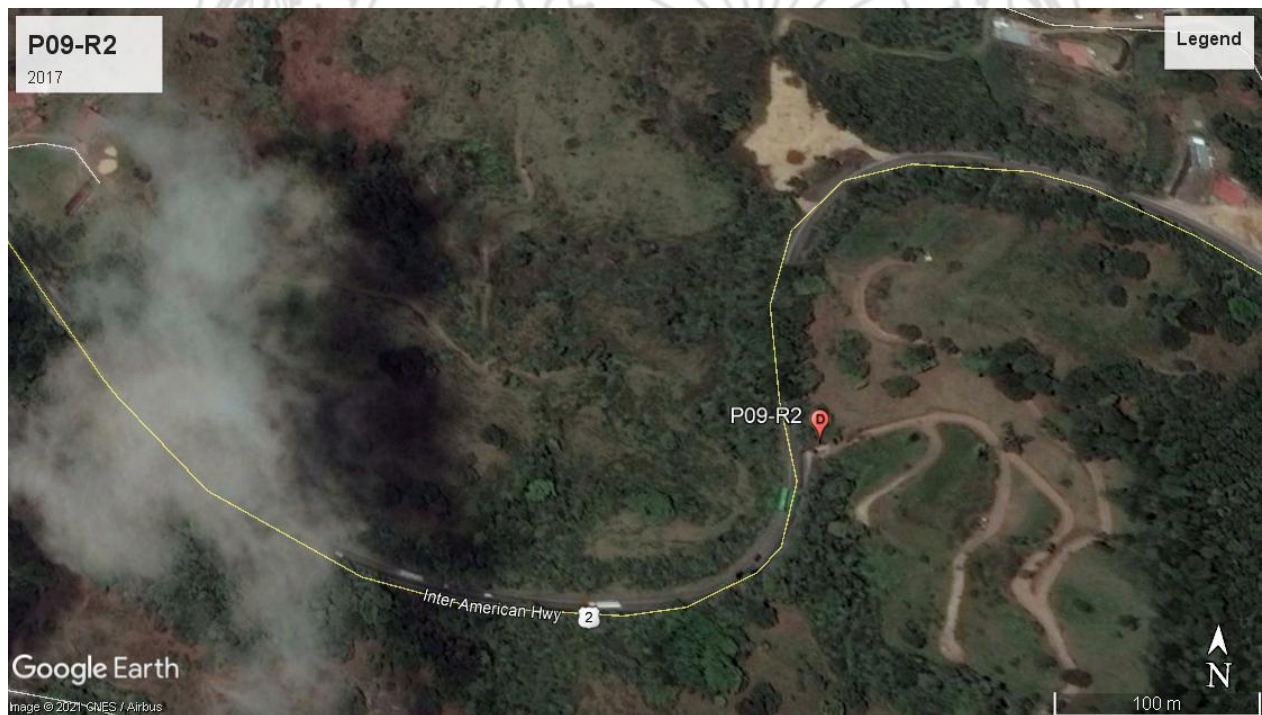
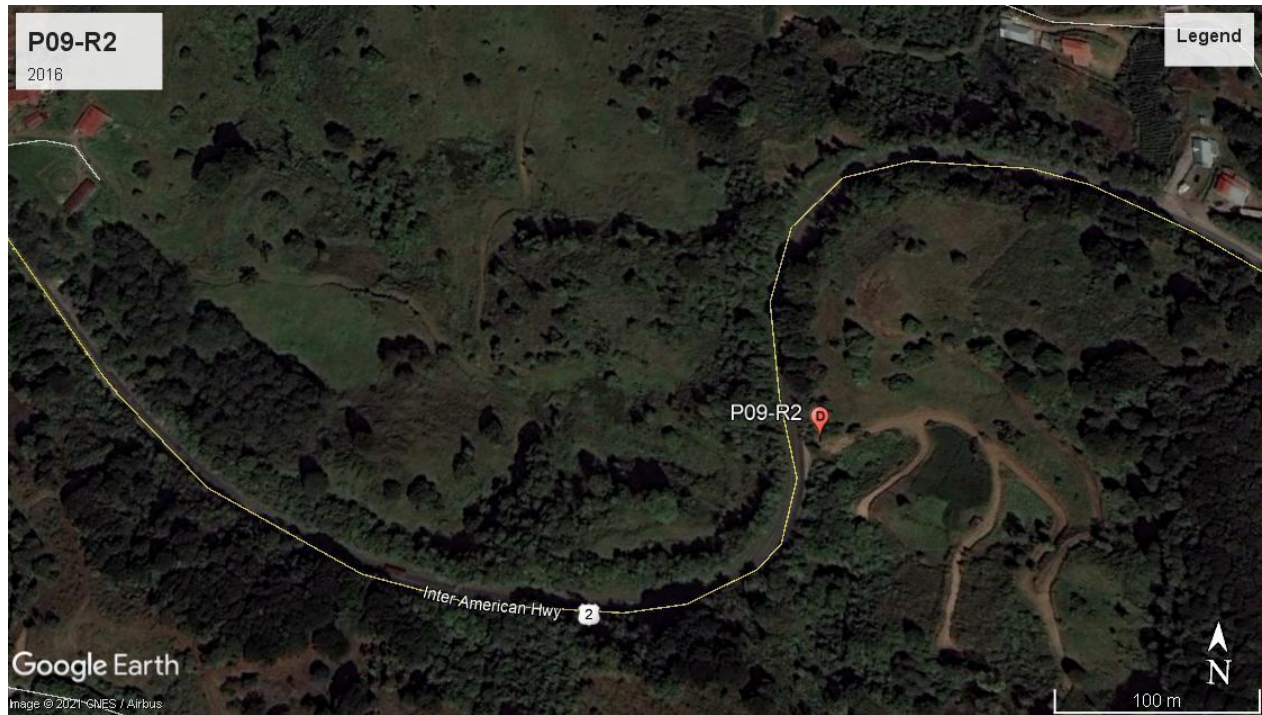
Punto P08- R2.

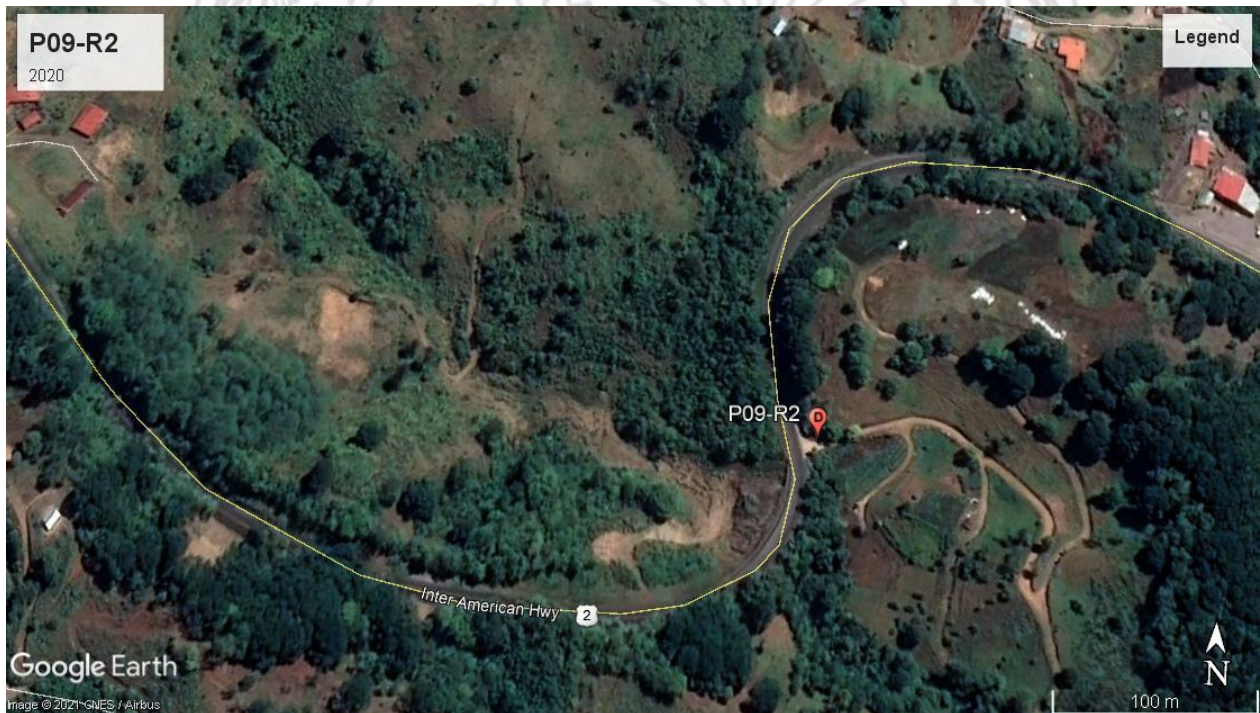


Punto P09-R2.

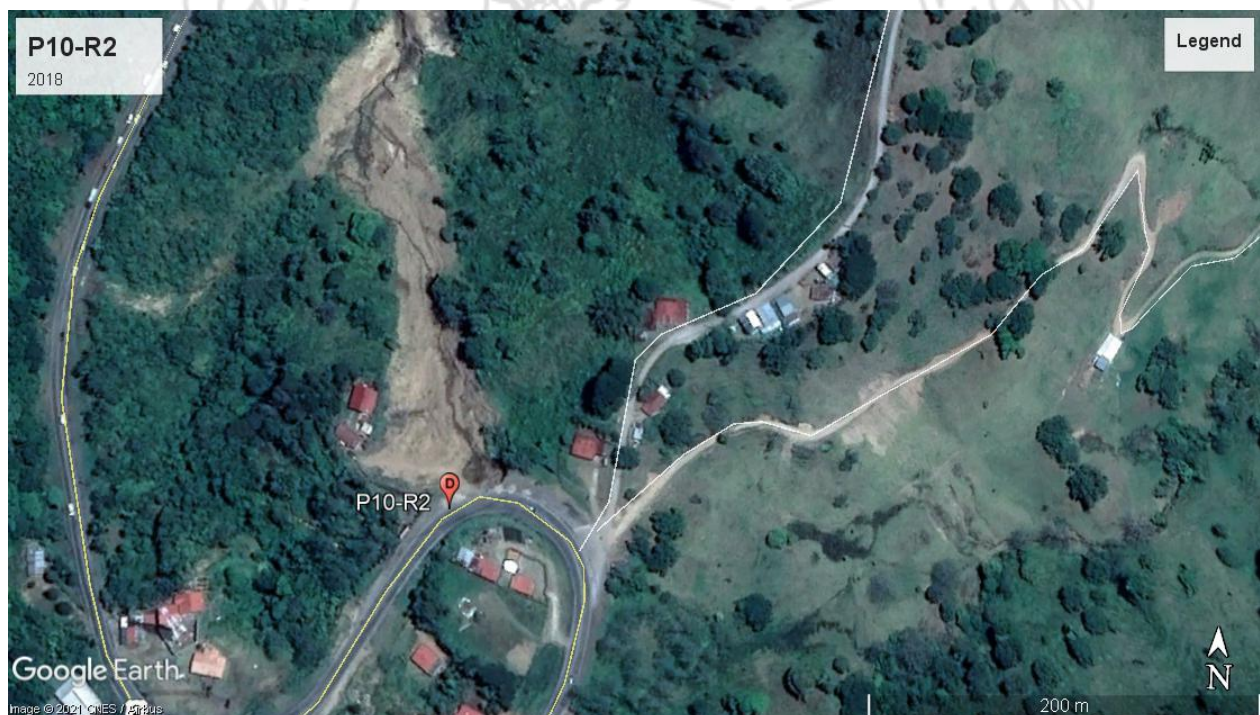


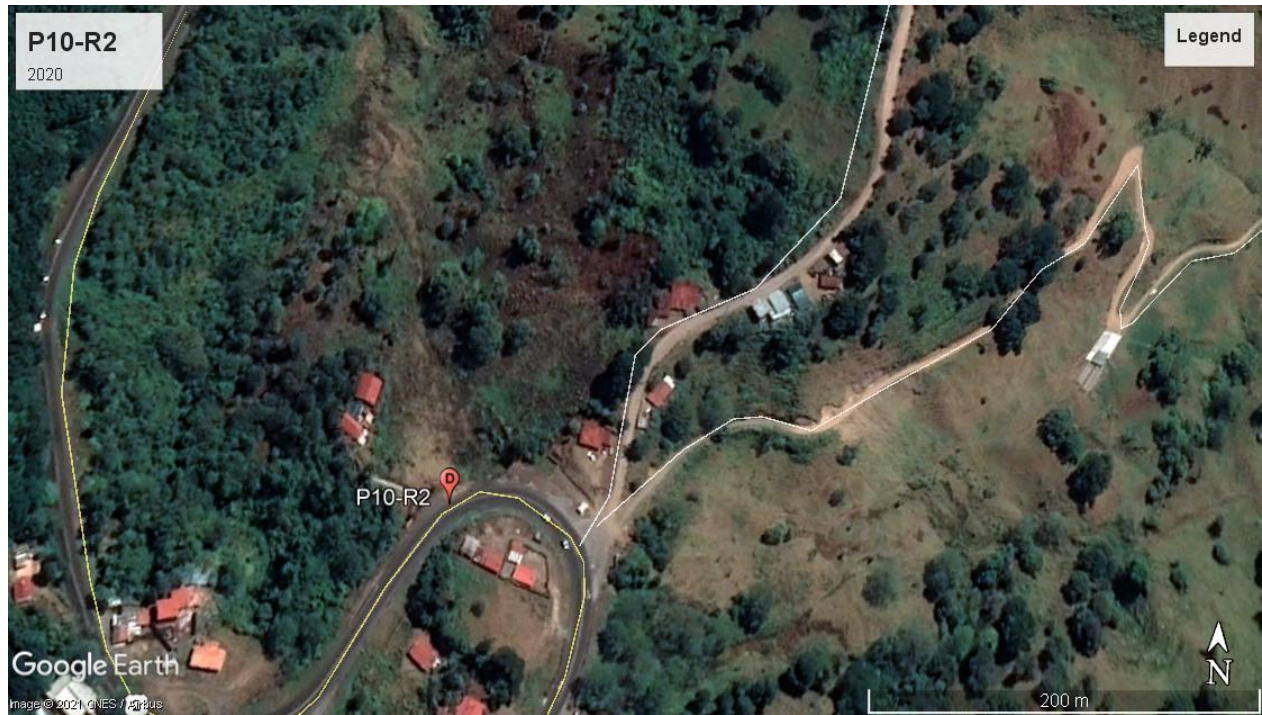






Punto P10- R2.

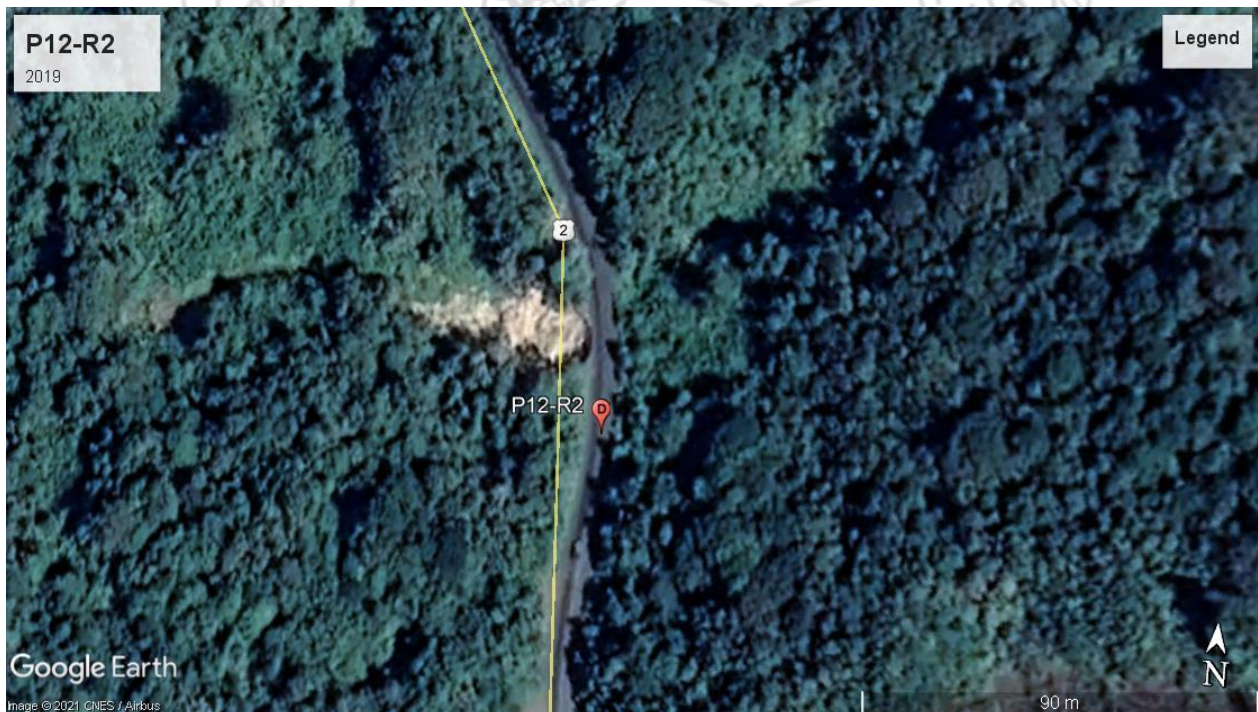




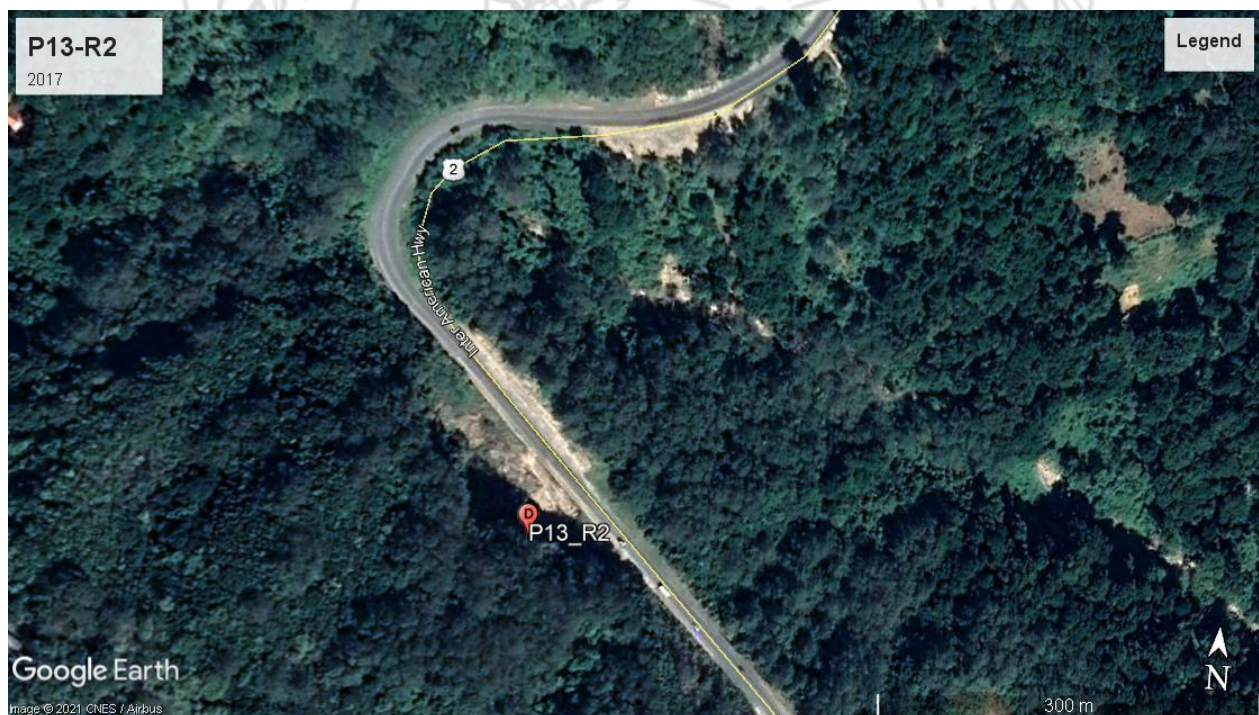
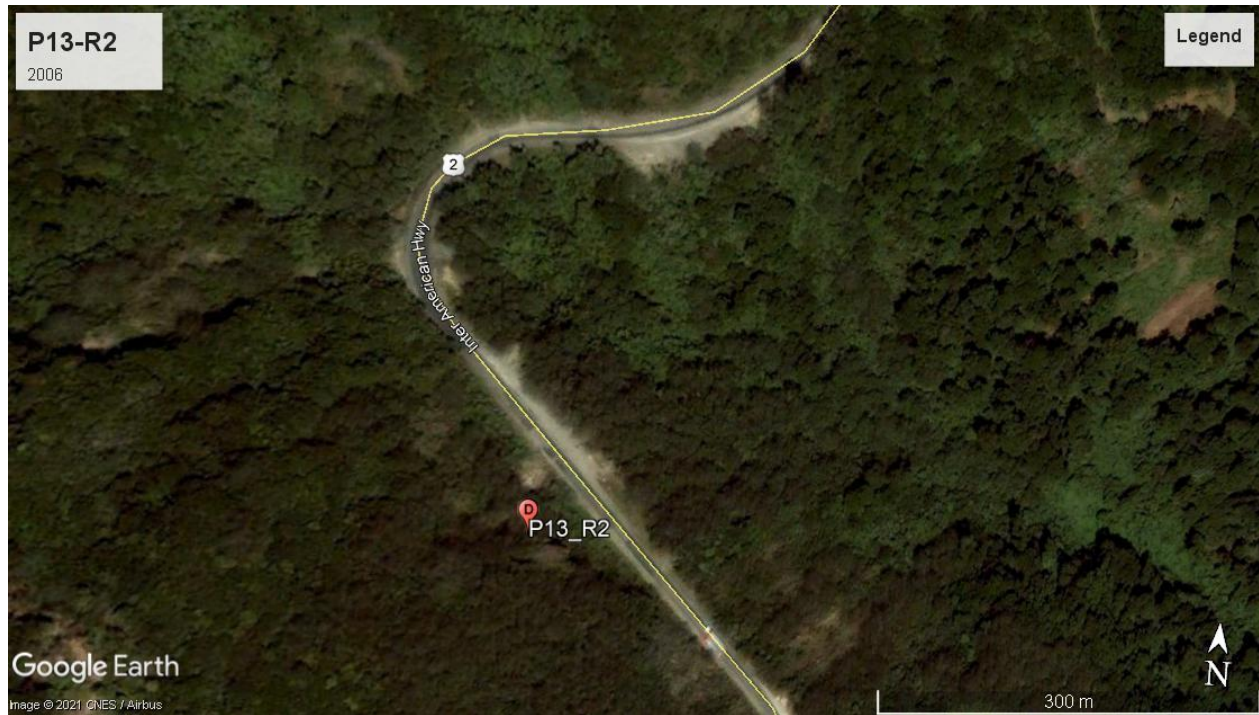
Punto P11- R2.

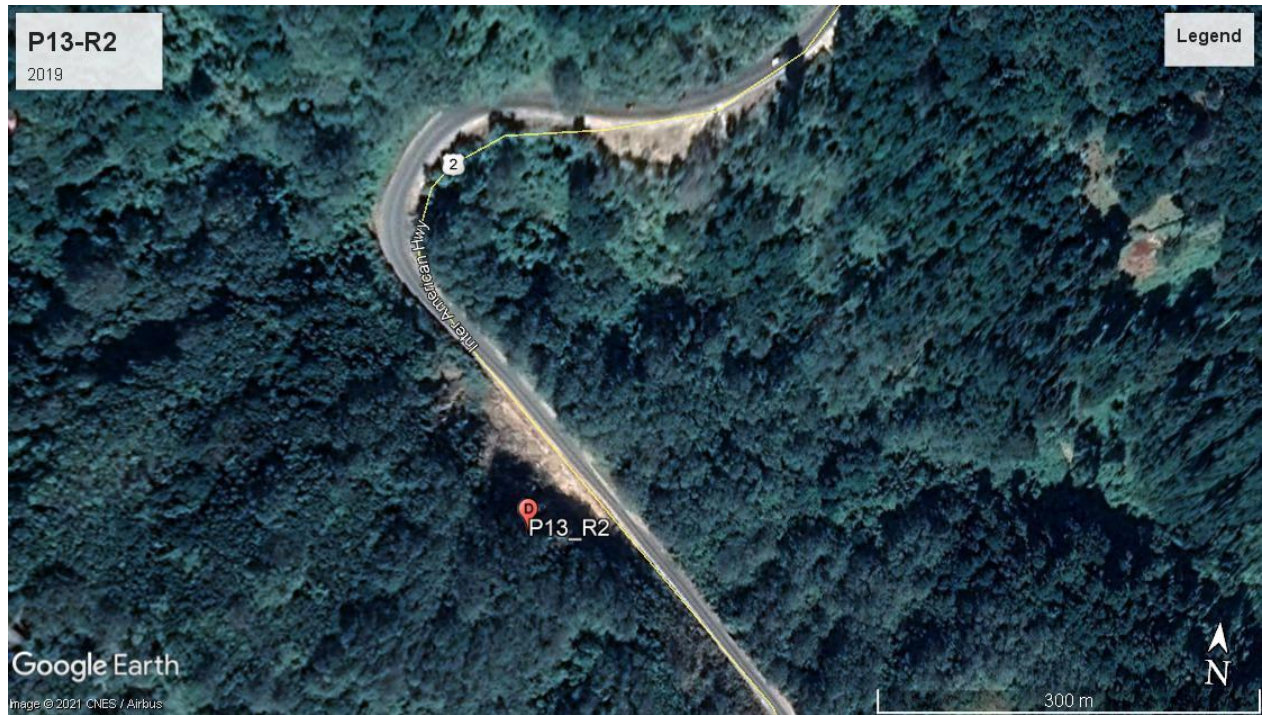


Punto P12- R2.

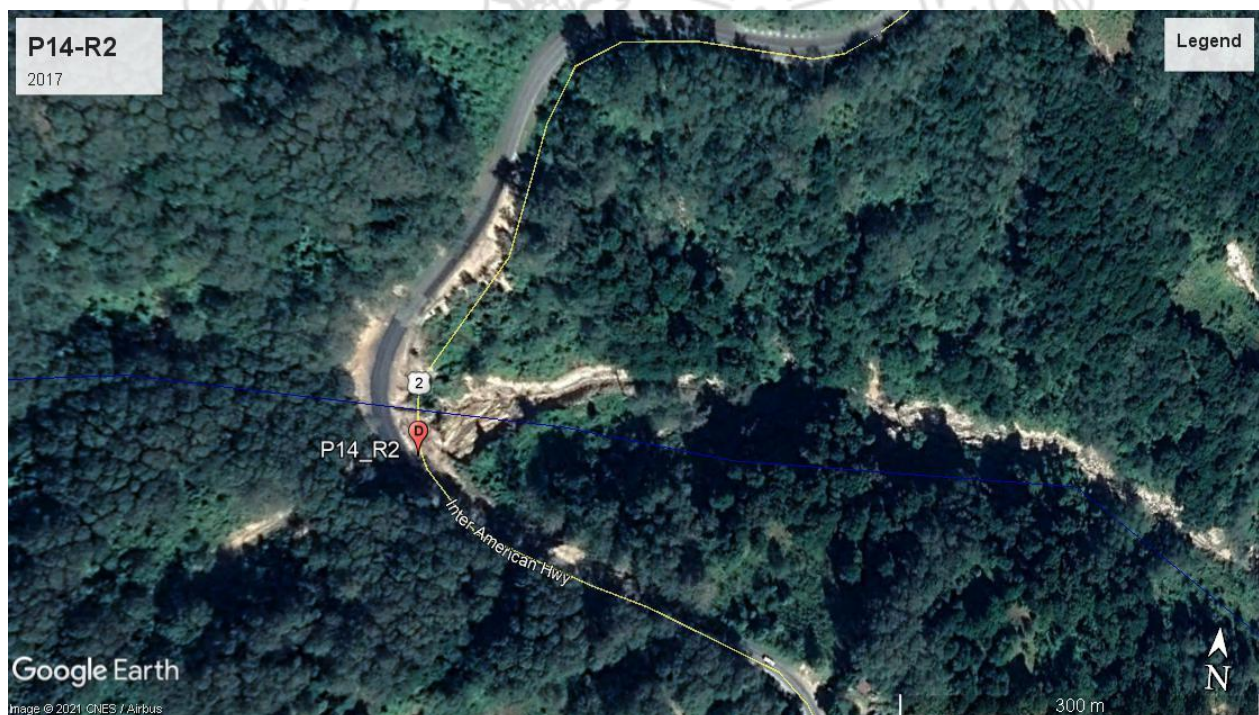


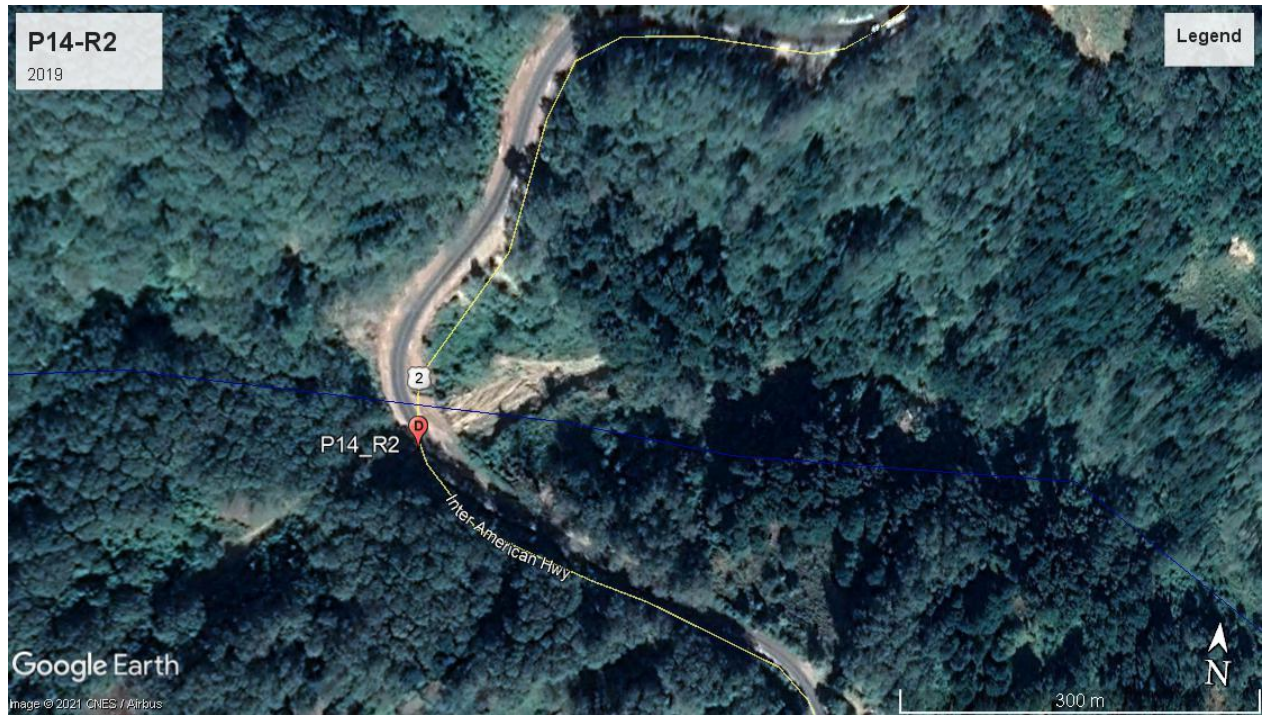
Punto P13- R2.



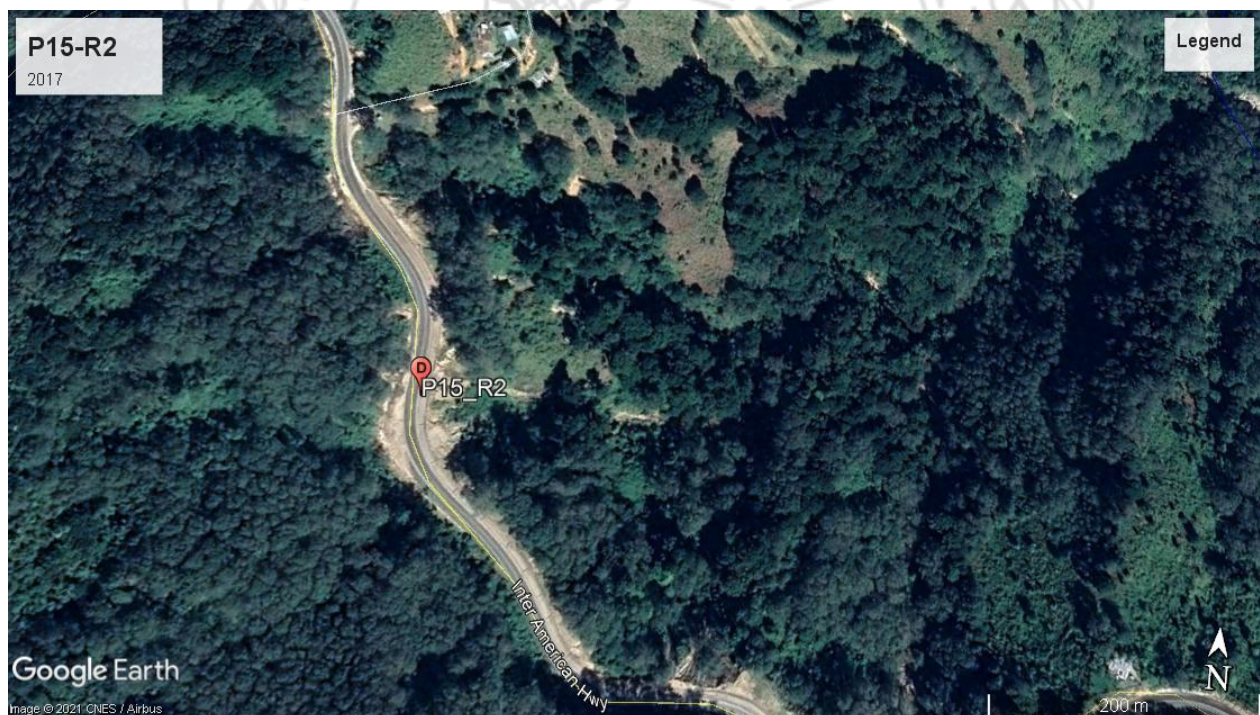
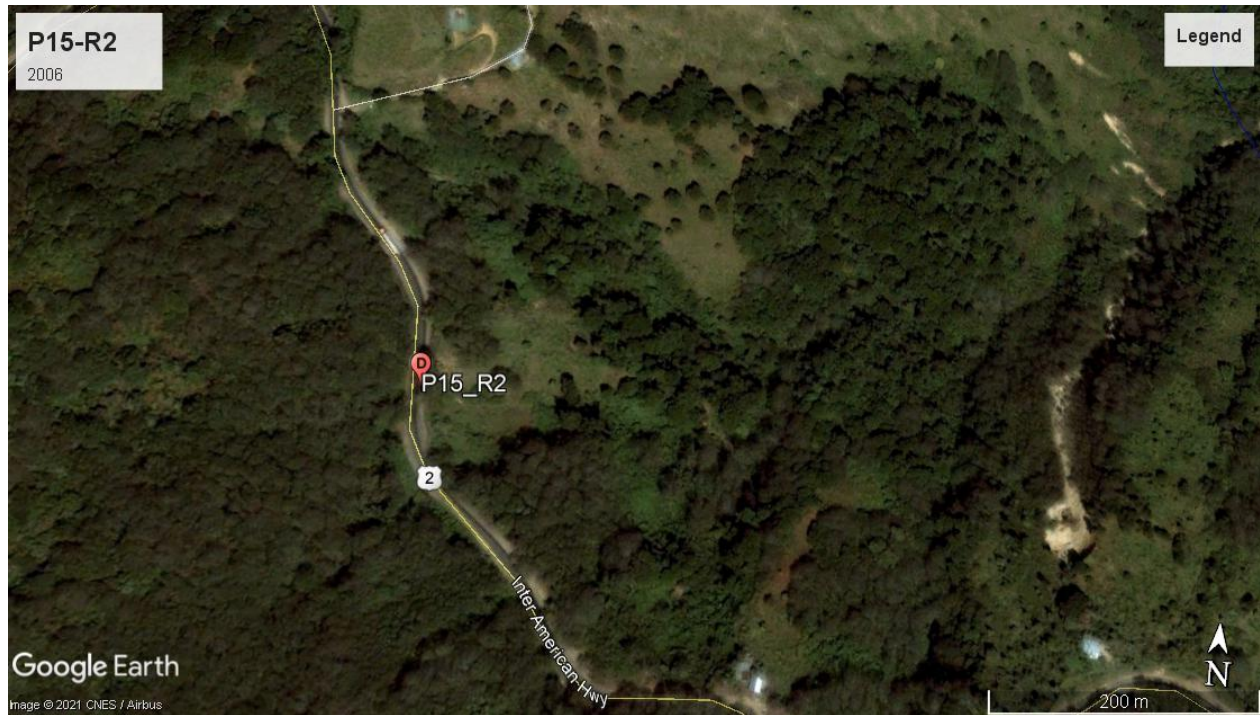


Punto P14- R2.





Punto P15- R2.





Punto P16- R2.

